



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Análisis geotécnico de cimentaciones en suelo blando para
infraestructura del servicio de seguridad ciudadana de la
ciudad de Huancané – Puno – 2020”.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTOR:

Bach. Pilcomamani Atencio, Darwin (ORCID: 0000-0002-4141-8820)

ASESOR:

Dr. Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique (ORCID: 0000-0002-0684-5114)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico Estructural

PUNO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico con todo mi alma y corazón mi tesis a Dios, por permitirme la vida y su bendición para lograr este objetivo.

A mi madre, por haberme inculcado los buenos valores y su admirable lucha para salir adelante y su incansable amor.

A mi familia por el gran apoyo brindado en los mejores y peores momentos, y por siempre motivarme a seguir adelante a más.

A un gran compañero y amigo por hacer posible este proyecto de tesis una realidad.

Para todos ellos va este esfuerzo, por enseñarme los valores importantes para la vida y sus deseos.

AGRADECIMIENTO

A la universidad, a mis formadores personas de gran sabiduría, a mi familia que siempre están motivando para seguir adelante.

Este logro es en gran parte gracias a los maestros, amigos; he logrado concluir con éxito un proyecto que al parecer era una tarea titánica.

Quisiera dedicar esta tesis a ustedes los que me apoyaron, y así obtener una afable titulación profesional.

Infinitas mil gracias a todos, ya que sin su ayuda no hubiera logrado realizar este sueño.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivo general	11
1.2. Objetivos específicos	11
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS	18
2.1.1. Ecuación básica de capacidad de carga (Terzaghi, 1943)	18
2.1.2. Ecuación general de capacidad de carga (Meyerhof, 1963).....	24
2.2. ASENTAMIENTOS.....	26
2.2.1. Asentamientos inmediatos.....	26
2.2.2. Esfuerzos debidos a cargas externas rectangulares	27
2.2.3. Asentamientos por consolidación	29
III. METODOLOGÍA	35
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.1.1. Investigación descriptiva.....	35
3.1.2. Investigación explicativa	35
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	36
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	37
3.4.1. Variable independiente	37
3.4.2. Variable dependiente.....	37
3.4.3. Variable interviniente	37
3.5. PROBLACIÓN Y MUESTRA. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	38
3.5.1. Descripción de la obra	39
3.5.2. Obtención de parámetros del suelo.	49

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
3.6.1. Técnicas	50
3.6.2. Instrumentos	50
3.6.3. Fuentes.....	50
IV. RESULTADOS.....	51
4.1. PROPIEDADES BÁSICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	51
4.2. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE SUELOS	52
4.3. PROPIEDADES DE DEFORMABILIDAD. CONSOLIDACIÓN.....	54
4.4. DISEÑO GEOTÉCNICO POR RESISTENCIA.....	55
4.5. DISEÑO GEOTÉCNICO POR DEFORMABILIDAD	60
V. DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXO.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Falla por capacidad de carga de un suelo debajo de una cimentación corrida (Das, 2012).....	19
Figura 2. Tipos de fallas por capacidad de carga del suelo.	22
Figura 3. Ábaco de Fadum (m y n son intercambiables) (Berry y Reid, 1993).	29
Figura 4. Asentamiento por consolidación primaria del suelo (Laura, 2016).	30
Figura 5. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión. Suelo normalmente consolidado (Laura, 2016).	31
Figura 6. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión. Suelo sobreconsolidado con $'_{vf} < 'p$	33
Figura 7. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión. Suelo sobreconsolidado con $'_{vf} > 'p$	34
Figura 8. Localización y topografía de la zona de estudio.....	40
Figura 9. Planos arquitectónicos de la edificación para el Servicio de Seguridad Ciudadana: a) primer nivel; y b) segundo nivel.....	43
Figura 10. Plano de cimentaciones de la infraestructura del Servicio de Seguridad Ciudadana de Huancané.....	45
Figura 11. Clasificación de suelos finos en la carta de Casagrande (ASTM D2487-06) (Fuente: Elaboración propia).	52
Figura 12. Perfil estratigráfico con características y propiedades geotécnicas de los suelos.	57
Figura 13. Curvas para diseño geotécnico de zapatas.	58
Figura 14. Curvas de diseño de zapatas, por el método de deformación (consolidación primaria).	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de forma, profundidad e inclinación para la ecuación de capacidad de carga de Meyerhof (Laura, 2016, 2018).	25
Tabla 2: Características físicas básicas de los suelos explorados.	51
Tabla 3: Propiedades resistentes de los suelos de fundación.	53
Tabla 4: Propiedades de consolidación de los suelos de fundación.	55
Tabla 5: Cálculo de las cargas de servicio por columna, en la edificación del Servicio de Seguridad Ciudadana de la ciudad de Huancané.	55
Tabla 6: Anchos (B) de las zapatas determinadas a partir del análisis y diseño geotécnico de cimentaciones superficiales por el criterio de resistencia al esfuerzo cortante.	59
Tabla 7: Cálculo de las cargas de servicio por columna, en la edificación del Servicio de Seguridad Ciudadana de la ciudad de Huancané.	60
Tabla 8: Anchos (B) de las zapatas determinadas a partir del análisis y diseño geotécnico de cimentaciones superficiales.	62

RESUMEN

El crecimiento urbano y poblacional de las ciudades de nuestra región y del país crean la necesidad de contar con diversos servicios para satisfacer las necesidades básicas y el bienestar de sus habitantes. Este es el caso del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané, para la que se ha proyectado y construido infraestructura de edificación, para la atención a los requerimientos de la población huancaneña. El proyecto para la construcción de esta infraestructura, para el servicio de seguridad ciudadana en Huancané, se ha realizado recientemente. Asimismo, la construcción de esta **infraestructura** ha considerado la edificación para el servicio de seguridad ciudadana, cerco perimétrico, SS.HH., tanque elevado y otros servicios de primera necesidad, con el objetivo de mejorar las condiciones de atención. Se ha observado que el proyecto de esta infraestructura ha considerado cimentaciones compuestas por zapatas conectadas y cimientos corridos, construidos sobre un relleno de 1.80 m de profundidad en promedio, sin mostrar un criterio claramente establecido, considerando la existencia de suelos finos compresibles debajo del relleno, lo cual puede llegar a complicar el funcionamiento de la infraestructura.

Luego de realizar acciones correspondientes a los estudios básicos requeridos para el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales (zapatas) y de realizar los cálculos y diseños correspondientes, a partir de los parámetros geotécnicos determinados a partir de las exploraciones y ensayos geotécnicos realizados, se han obtenidos curvas para diseño de acuerdo con el criterio de resistencia y con el criterio de deformabilidad (asentamientos).

Finalmente se concluyó que el diseño geotécnico influye en el diseño estructural de los elementos estructurales de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

ABSTRACT

The urban and population growth of the cities of our region and the country create the need for various services to satisfy the basic needs and well-being of its inhabitants. This is the case of the citizen security service of the city of Huancané, for which building infrastructure has been designed and built, to meet the requirements of the Huancan population. The project for the construction of this infrastructure, for the citizen security service in Huancané, has been carried out recently. Likewise, the construction of this infrastructure has considered the building for the citizen security service, perimeter fence, SS.HH., elevated tank and other essential services, with the aim of improving care conditions. It has been observed that the project of this infrastructure has considered foundations composed of connected footings and continuous foundations, built on a fill of 1.80 m depth on average, without showing a clearly established criterion, considering the existence of compressible fine soils under the fill. which can complicate the operation of the infrastructure.

After carrying out actions corresponding to the basic studies required for the geotechnical design of the superficial foundations (footings) and carrying out the corresponding calculations and designs, based on the geotechnical parameters determined from the explorations and geotechnical tests carried out, they have been obtained curves for design both by the criterion of resistance and by the criterion of deformability (settlements).

Finally, it was concluded that the geotechnical design influences the structural design of the structural elements of the infrastructure of the Citizen Security Service of the city of Huancané.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y el crecimiento poblacional de las ciudades de nuestro país, y en particular de nuestra región, crean la necesidad de contar con diversos servicios para satisfacer las necesidades básicas y bienestar de los pobladores de las ciudades. Para el funcionamiento de los servicios requeridos por una ciudad se requiere la construcción de diversas edificaciones, para el funcionamiento administrativo del servicio. Este es el caso de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané, que se encuentra en una situación crítica debido a que no cuenta con una infraestructura para este servicio, careciendo de una atención adecuada en cuanto a seguridad a la población.

Recientemente se ha formulado un proyecto para la construcción de la infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana en la municipalidad provincial de Huancané. La construcción de la infraestructura se fundamenta en la inexistencia de una infraestructura adecuada para la atención de seguridad por parte de la municipalidad provincial de Huancané. Los servicios de seguridad ciudadana venían funcionando en ambientes inadecuados que no cumplen con los requerimientos mínimos para una buena atención a la ciudadanía, por lo que requiere la urgente atención para la construcción de una infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana, cerco perimétrico, SS.HH., tanque elevado y otros servicios de primera necesidad, para una mejora de las condiciones de atención.

Para la construcción de la infraestructura se han considerado cimentaciones compuestas por zapatas conectadas y cimientos corridos, contruidos sobre un relleno de 1.80 m de profundidad en promedio. El proyecto no muestra un criterio, ni mucho menos una memoria de cálculos, para el diseño de las cimentaciones, considerando que debajo del relleno se encuentran suelos finos de los que se esperaba un mal comportamiento resistente y deformable. Es por ello que se plantea la necesidad de evaluar el diseño geotécnico de las cimentaciones de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané, planteado en el expediente técnico de obra.

Con base en lo anterior se plantea el siguiente **problema general**:

-) ¿De qué manera el análisis geotécnico de cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané?

Lo que conduce finalmente a plantear, para el presente proyecto de investigación a los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Analizar si el análisis geotécnico de las cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancané.

1.2. Objetivos específicos

-) Determinar si el diseño de cimentaciones en suelo blando afecta la infraestructura de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.
-) Determinar si el diseño de cimentaciones en suelo blando determina vigas de cimentación armado en la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.

Con la finalidad de justificar estos problemas, se expresa la **justificación teórica, practica y metodológica**.

En relación a la **justificación teórica**, la investigación brindará un mayor conocimiento respecto a la necesidad de realizar un adecuado análisis geotécnico de las cimentaciones de edificaciones apoyadas sobre suelo blando. Esto, debido a las características particularmente especiales de este tipo de suelo, por las grandes deformaciones que muestran frente a cargas aplicadas desde las columnas de las estructuras de edificación. Con el objetivo de realizar diseño óptimo y económicamente viable para los usuarios finales. Por otro lado, la **justificación práctica**, este trabajo proporcionará información sobre el procedimiento que debe realizarse para el adecuado análisis geotécnico de las cimentaciones de edificaciones. Esto beneficia a la práctica de ingenieros proyectistas, que se encargan de diseñar las cimentaciones de edificaciones como

la considerada en este trabajo. Por último, la **justificación metodológica** de esta investigación está relacionada con el propósito de recolectar datos confiables, mediante la utilización de herramientas que serán sometidos a un procedimiento de validez y confiabilidad, asimismo estos datos podrán ser utilizados en futuras investigaciones, que tengan relación y, a su vez, tengan un aporte adicional de modo que siga minimizando la problemática indicada al inicio de este trabajo.

Respecto a la **Hipótesis** de este trabajo de investigación, de acuerdo con Arias (2012) quien menciona que la hipótesis puede entenderse como una suposición que debe expresar la probable relación existente entre dos o más variables, y debe ser formulado con la finalidad de dar una respuesta tentativa a una pregunta o problema de investigación (p. 47).

Por lo tanto, la **hipótesis general** corresponde a que; El análisis geotécnico de las cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané; y las **hipótesis específicas** son las siguientes:

-) El diseño de cimentaciones en suelo blando; afecta a la infraestructura de la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.
-) El diseño de cimentaciones en suelo blando determina la inclusión de vigas de cimentación armado en la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

II. MARCO TEÓRICO

Para la redacción del contenido de este capítulo, se han incluido la información recogida de diversas fuentes bibliográficas nacionales e internacionales, adecuando la investigación a los lineamientos sugeridos por la universidad, de modo que sustente la credibilidad y fundamento al tema investigado. La información recogida se incluye de manera ordenada desde el más actual hasta el menos actual.

Palomino (2018) realizó un trabajo de investigación con el objetivo de determinar la influencia de la evaluación geotécnica en el diseño de cimentaciones superficiales del distrito de Ventanilla, Lima – 2018. La investigación, de tipo cuantitativo con muestreo intencional no probabilístico, consideró realizar un análisis en el que se comparan dos teorías clásicas de capacidad portante de: Terzaghi y Meyerhof, las que analizó en relación a los criterios para diseño de cimentaciones, analizando también los posibles asentamientos en la edificación para una vivienda unifamiliar de tres pisos, cuya estructura es del tipo albañilería confinada. Asimismo, para la validación de la investigación realizó el muestreo en 3 calicatas representativas y realizó ensayos de mecánica de suelos en laboratorio, así como fichas técnicas que fueron evaluadas por expertos, así como el apoyo de los softwares SAFE y ETABS. Mediante el trabajo determinó que los suelos del distrito de Ventanilla tienen un peso unitario medio de 1.752 g/cm^3 y un contenido de agua promedio de 6.3%; muchas veces gobernados por el tipo de suelo, y el tipo de suelo presente en el subsuelo del distrito de Ventanilla corresponde a arena pobremente graduada con grava y limo. Los parámetros de resistencia del suelo son de: cohesión igual a 2 kg/cm^2 y ángulo de fricción interna de 28.9° , obtenidos mediante ensayo de corte directo. Finalmente concluyó que la evaluación geotécnica del terreno, en el momento del diseño de cimentaciones de estructuras, es indispensable debido a que proporciona información sobre el tipo de cimentación requerido, los parámetros geotécnicos del subsuelo, y la posibilidad de realizar un diseño que garantice mayor seguridad estructural, evitando muchas fallas y colapsos de las estructuras. Finalizó

indicando que la evaluación geotécnica influye directamente en el diseño realizado de las cimentaciones de tipo superficial en el distrito de Ventanilla.

Pajuelo (2018) identificó el uso inadecuado del suelo debido al crecimiento urbano y la falta de planificación, observando que las infraestructuras no cumplen adecuadamente con los parámetros normativos establecidos por el reglamento nacional de edificaciones. Indicó que las construcciones, por más económicas y sociales que sean, deben brindar seguridad y durabilidad. Asimismo, en una evaluación realizada a las construcciones de viviendas, en la Asociación Popular Las Lomas, tienen poco tiempo de servicio y presentan serios indicios de deterioro. Por todo ello, realizó el trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la incidencia del estudio geotécnico para la propuesta de un tipo de cimentación que se diseñará en el Mercado Modelo Villas de Ancón, ubicado en la Asociación Popular las Lomas de Ancón, en el distrito de Ancón. El área de la infraestructura estudiada comprende 8,065.13 m² y una estructura de 4 niveles. El estudio geotécnico realizado correspondió a una etapa de exploración del suelo, obtener los datos necesarios para determinar la mejor alternativa de cimentación de manera que garantice durabilidad y estabilidad de la estructura. Para esto, realizó seis calicatas entre 3.60 m y 4.00 m de profundidad, mediante los cuales determinó que la estratigrafía del subsuelo está compuesta principalmente por arena mal graduada (SP) cuya capacidad portante promedio es de 216.26 kPa (2.21 kg/cm²) y sin presencia de sales agresivas. Finalmente, concluyó que la cimentación como losas o platea de fundación con una profundidad de 1.5 m genera un asentamiento máximo de 0.22 cm y no supera la capacidad portante del suelo, siendo satisfactoria.

Fernández (2015) realizó una investigación con el objetivo de determinar el esfuerzo de la capacidad portante de los suelos de fundación que puede ser medido de la Ciudad Universitaria utilizando dos métodos, el método del ensayo de laboratorio de Corte Directo y el método del SPT de campo en el campus de Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) durante el año 2014. Realizó un total de ocho (8) ensayos de Corte Directo, así como ocho (8) ensayos de SPT para determinar las características físicas y mecánicas de los suelos para fines de cimentación, con muestras obtenidas mediante exploraciones geotécnicas. Esto permitió que pudiera calcular los parámetros de resistencia de los suelos para

diferentes profundidades, encontrando una variación de 0.20, que representa el 2.03%. Los suelos de cimentación a 3.0 m de profundidad presentan arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, asimismo arcillas arenosas, también arcillas magras de clasificación CL y arenas arcillosas de clasificación SC. Por todo el trabajo realizado concluyó que la capacidad portante del suelo con fines de cimentación, a partir del ensayo de penetración estándar (SPT) y del ensayo de Corte Directo en la Ciudad Universitaria de la UNC, para una profundidad de 3 m, corresponden a valores entre $0,67 \text{ kg/cm}^2 - 1,58 \text{ kg/cm}^2$ y $1,11 \text{ kg/cm}^2 - 1,41 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente, considerando cimentaciones mediante zapatas de 2.5 m y 3.0 m de lado en dos zonas definidas para el área de estudio, que además controlan los asentamientos para mantener los asentamientos diferenciales menores a 2.5 cm.

Gómez y Cenepo (2019) realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de determinar la capacidad de carga admisible del suelo con fines de cimentación para las viviendas multifamiliares en la CC.NN. Pucallpa, del Distrito de Shanao, Lamas, San Martín. Para el desarrollo de este trabajo de investigación realizaron el reconocimiento del sitio, para definir la ubicación de los puntos de exploración que se realizaron a cielo abierto, para obtener muestras respectivas y estudiarlos mediante ensayos de laboratorio correspondientes. Mediante la realización de ensayos de laboratorio obtuvieron la clasificación del suelo y las propiedades y características necesarias para el diseño de cimentaciones. Mediante el método planteado por Terzaghi y mediante los resultados del ensayo de compresión triaxial, realizados en laboratorio, obtuvieron los valores de los parámetros requeridos como: el ángulo de fricción, la cohesión y la densidad del suelo del área en estudio, para la determinación de la capacidad de carga admisible, y pudieron elaborar los planos de delimitación de las zonas correspondientes en el área de estudio. Finalmente pudieron concluir que determinaron la capacidad de carga admisible, indicando para los suelos de la CC.NN. Pucallpa que correspondían a suelos con condiciones para realizar cimentaciones superficiales, asimismo determinaron que la investigación que realizaron permitirá que los pobladores del distrito de Shanao puedan reducir los costos y otros gastos durante la construcción de una edificación segura.

Sanchez (2019) indica que la diversidad de edificaciones tiene su cimentación considerando la variedad de suelos, analizados debidamente según la aplicación de ensayos de campo, además de los consecuentes análisis que deben realizarse en laboratorio, con la finalidad de poder tomar de decisiones oportunamente, y así determinar las propiedades mecánicas como físicas del suelo. El trabajo de investigación que realizó corresponde a un estudio geotécnico que es utilizado para el diseño de cimentaciones superficiales de viviendas unifamiliares del Centro Poblado de Huamanmarca. Indicó que debido a la poca importancia que se brinda a la investigación geotécnica, y al desconocimiento de sus características, para un adecuado diseño de cimentaciones podrían generar inconvenientes. En este estudio el área en estudio corresponde al barrio Chanchas del Centro Poblado de Huamanmarca, ubicada al sur de la ciudad de Huancayo. Esta área actualmente está destinado al uso como campos de cultivo. Conforme con la clasificación de suelos S.U.C.S., se pudo determinar que los tipos de suelos son: SC-SM, GC-GM, SM; el tipo de suelo que predomina es el suelo arenoso para la zona superficial y respecto al tipo de suelo para la zona debajo del nivel de desplante fueron: CL, ML, SM; CL-ML predominando el tipo de suelo limoso y arcilloso. De acuerdo con la zonificación del distrito, el barrio Chanchas del Centro Poblado de Huamanmarca está destinada a uso como una zona residencial de densidad baja para edificaciones de 3 pisos de área promedio de lote de 150 a 200 m². Finalmente pudo concluir que el suelo tienen densidades entre 1.63 g/cm³ y 1.82 g/cm³, con humedades entre 13.6% y 23.9%. La resistencia del suelo fino, predominante en la zona de cimentación, la cohesión determinada es de 0.04 kg/cm² y 0.38 kg/cm² y el ángulo de fricción interna están entre 19.6° y 35.2°. De acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas del suelo, la capacidad portante admisible, para falla por corte local, es de 1.36 kg/cm², para una profundidad de 1.80 m, a 1.85 kg/cm², para una profundidad de 1.90 m, con lo cual se determinó que las dimensiones mínimas de zapatas adecuadas son de 1.90 x 1.75 m para una profundidad de desplante de 1.70 m y de 2.30 x 2.15 m para una profundidad de desplante de 1.60 m.

Cañi y Gómez (2019) realizaron un trabajo de investigación para realizar la propuesta técnica para cimentaciones de viviendas ubicadas en el Sector VII del distrito de Alto de la Alianza – Tacna – 2018. Para este efecto se propusieron realizar los trabajos necesarios para obtener las propiedades físicas y mecánicas

del suelo, que incluyó la determinación de la capacidad de carga admisible; proponer el tipo de cimentación adecuada para las viviendas en la zona de estudio; y así realizar un mapa de isovalores de capacidad portante admisible a 1.50 m y 2.0 m de profundidad. El subsuelo encontrado en la Asociación de Vivienda Alto Santa Cruz, en el Sector VII del distrito de Alto de la Alianza, generalmente está compuesto por arena limosa, cuyo ángulo de fricción interna es de 28.37° y capacidad portante admisible de 1.33 kg/cm² y 1.65 kg/cm² para las profundidades de 1.50 m y 2.00 m respectivamente, considerando una zapata cuadrada de 1.20 m de lado con un factor de seguridad (FS) de 3.5. Con los valores de capacidad portante admisible obtenidos elaboraron un mapa de isovalores a 1.50 m y 2.00 m de profundidad en la zona de estudio, de modo que sea útil para tomar decisiones sobre las cimentaciones de las viviendas o simplemente para proyectar alguna construcción en la zona. Finalmente, realizaron la propuesta de cimentaciones con la capacidad portante admisible de 1.65 kg/cm², que resultó en zapatas de 1.10 x 1.10 m para viviendas en general, diseño realizado de acuerdo con las normas de concreto armado

Las cimentaciones superficiales, o zapatas y cimientos corridos, se usan alrededor de todo el mundo como un sistema de soporte viable para estructuras de cualquier magnitud. Las cimentaciones superficiales son las más económicas, ampliamente utilizados, y método más simple de soporte de las estructuras.

Una cimentación superficial es un tipo de sistema de cimentación en cuyo diseño los proyectistas deben tener en cuenta que, desde el punto de vista geotécnico, deben cumplir con los siguientes requerimientos (Laura, 2016, 2018; Alonso 2005):

1. Asegurar la estabilidad de la obra, mediante el estudio de sus condiciones de falla por resistencia, y
2. Conseguir que los asentamientos en servicio sean aceptables, mediante el conocimiento de la rigidez del sistema.

La primera condición es considerada como el estado límite más crítico debido a que puede resultar en un colapso súbito de la estructura, y a comúnmente se refiere a ella como falla por capacidad resistente o capacidad de carga. Aunque no ocurra el colapso súbito de la estructura, en la mayoría de casos es importante considerar el impacto en la serviciabilidad de la estructura, reflejado en el agrietamiento de muros

y la dificultad de abrir puertas y ventanas, entre otros aspectos, esto puede ser predicho a través del cálculo de los asentamientos. Controlar ambos aspectos, permitirá que una cimentación se comporte satisfactoria y adecuadamente.

De otro lado, las cimentaciones superficiales, en épocas recientes, típicamente se construyen de concreto armado y puede tener cualquier forma y tamaño, de acuerdo a los requerimientos particulares de la edificación. El diseño estructural de las cimentaciones deben considerar los siguientes procedimientos (Laura, 2018):

1. Evitar la falla por cortante y punzonamiento del concreto, controlado por la calidad del concreto en la altura de la zapata; y
2. Evitar la falla por flexión o tracción, mediante la inclusión de cuantías de refuerzos adecuados para soportar los momentos flectores, en cimentaciones flexibles o ligeramente rígidas, o esfuerzos de tracción, en cimentaciones muy rígidas.

En este capítulo se incluirán los conceptos teóricos necesarios para el análisis geotécnico del comportamiento del suelo de fundación de cimentaciones superficiales mediante zapatas.

2.1. CAPACIDAD DE CARGA DE SUELOS

La capacidad de carga última está definida como el esfuerzo máximo al que puede ser sometido una cimentación, luego de lo cual ocurrirá una falla o rotura repentina del suelo y esto podría provocar el colapso total de la estructura que soporta, con las correspondientes consecuencias de pérdidas materiales y posibles pérdidas de vidas humanas (Das, 2012; Budhu, 2011).

2.1.1. Ecuación básica de capacidad de carga (Terzaghi, 1943)

Terzaghi (1943) fue el primer ingeniero en presentar una teoría completa que permite determinar la capacidad de carga última para cimentaciones de tipo superficial y desarrolló la ecuación básica de capacidad de carga para los suelos (Laura, 2016; Das, 2012; Budhu, 2011), el que hasta nuestros días es la ecuación básica para la evaluación del soporte de las cimentaciones y para el diseño de las mismas.

Terzaghi (1943) basó sus determinaciones en el hecho de que para una cimentación corrida o continua (relación ancho a longitud que tiende a cero, o si la longitud es mayor que 10 veces su ancho), la superficie de rotura del suelo sometido a la carga última se puede asumir que se parece a la que se muestra en la Figura 1. Además, consideró algunas de las siguientes hipótesis:

1. El suelo es un material semi-infinito, homogéneo, isotrópico y plástico rígido.
2. La profundidad de fundación (o de desplante) es menor que el ancho de la cimentación ($D_f < B$).
3. El suelo falla por corte general.
4. El ángulo (Figura 1) es igual a ϕ' . Posteriormente, se determinó que en realidad es igual a $45^\circ + \phi'/2$.
5. La resistencia al esfuerzo cortante del suelo que se encuentra sobre el nivel de desplante es despreciable.
6. El suelo que se encuentra sobre el nivel de fundación (desplante) puede reemplazarse por una sobrecarga equivalente ($q = \gamma D_f$).
7. La base del cimiento es rugoso.

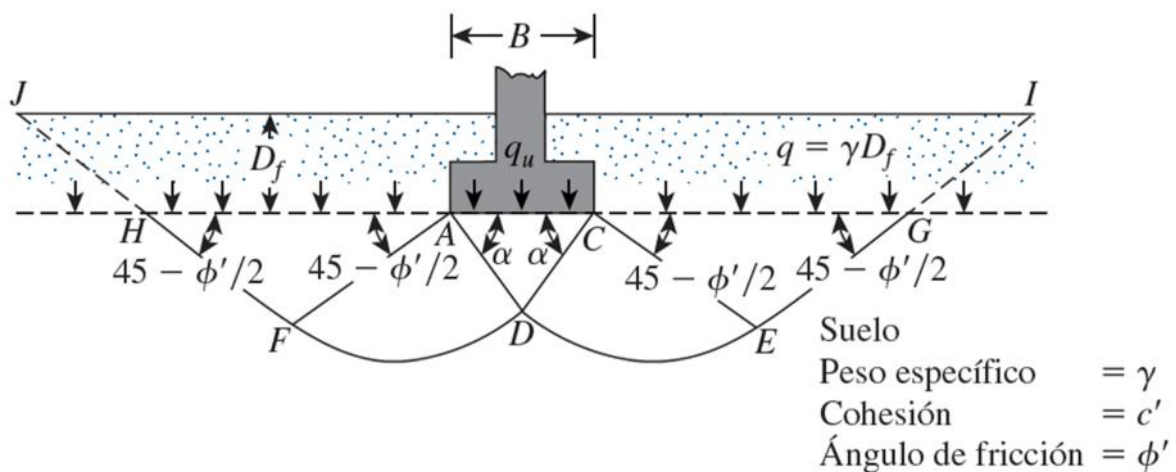


Figura 1. Esquema de falla por capacidad de carga de un suelo debajo de una cimentación continua (Das, 2012).

Las rupturas o fallas por capacidad de carga de las cimentaciones de tipo superficial se pueden agrupar en tres grandes categorías (Vesic, 1963):

i. Falla o ruptura por corte general.

Como puede verse en la Figura 2a una ruptura o falla por corte general implica una ruptura total del suelo contiguo (adyacente). Existe una falla continua por cortante en la masa de suelo que parte en la base de la zapata y se extiende hasta la superficie del terreno. En un gráfico carga – asentamiento de la cimentación, hay una carga distinta con la que el suelo de cimentación se rompe o falla, y esto ocurre debido a la carga última que puede aplicarse, Q_u . El valor de esta carga última dividido por el ancho (B) y la longitud (L) de la zapata es lo que consideramos como capacidad de carga última, q_u , del suelo de fundación. Note en la Figura 2a que la ruptura debido a la falla por corte general origina el desplazamiento de masas de suelo en ambos lados de la zapata o cimentación (Laura, 2016).

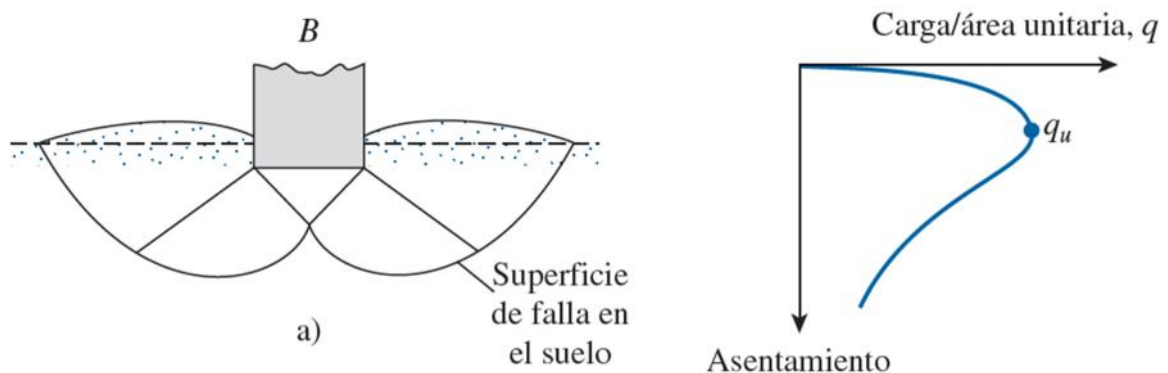
ii. Falla por corte local

Como puede observarse en la Figura 2b, la ruptura o falla por corte local considera que el suelo se rompe sólo en inmediaciones de la zapata. Las masas de suelo se elevan a ambos lados de la zapata, pero esta elevación no es significativa, como en el caso de falla por corte general. Esta ruptura o falla por corte local puede considerarse como una fase transicional entre la ruptura o falla por corte general y la ruptura o falla por punzonamiento. Debido a esta consideración como de naturaleza transicional, la capacidad de carga puede definirse como el primer punto no lineal en la curva de respuesta carga – asentamiento (círculo abierto) o al punto donde el asentamiento, debido a la carga aplicada, crece con mayor rapidez (círculo cerrado) (Laura, 2016).

iii. Falla por punzonamiento

Como se puede ver a través de la Figura 2c, la ruptura o falla por punzonamiento no desarrolla las diferentes superficies o planos de corte que se muestran en el caso de ruptura o falla por corte general. En una ruptura por punzonamiento, el suelo que se encuentra fuera del área cargada prácticamente no se ve afectada y existe un mínimo movimiento del suelo a ambos lados de la zapata.

La deformación de la cimentación, que se desarrolla, implica la deformación por compresión de suelo debajo de la zapata, también debido al corte vertical del suelo alrededor del perímetro de la zapata. Como puede observarse en la Figura 2c, la curva de respuesta carga – asentamiento no muestra cambio dramático, y para corte por punzonamiento podemos definir el valor de capacidad portante como el primer punto que escapa de la linealidad en la curva carga – asentamiento (círculo abierto) (Laura, 2016).



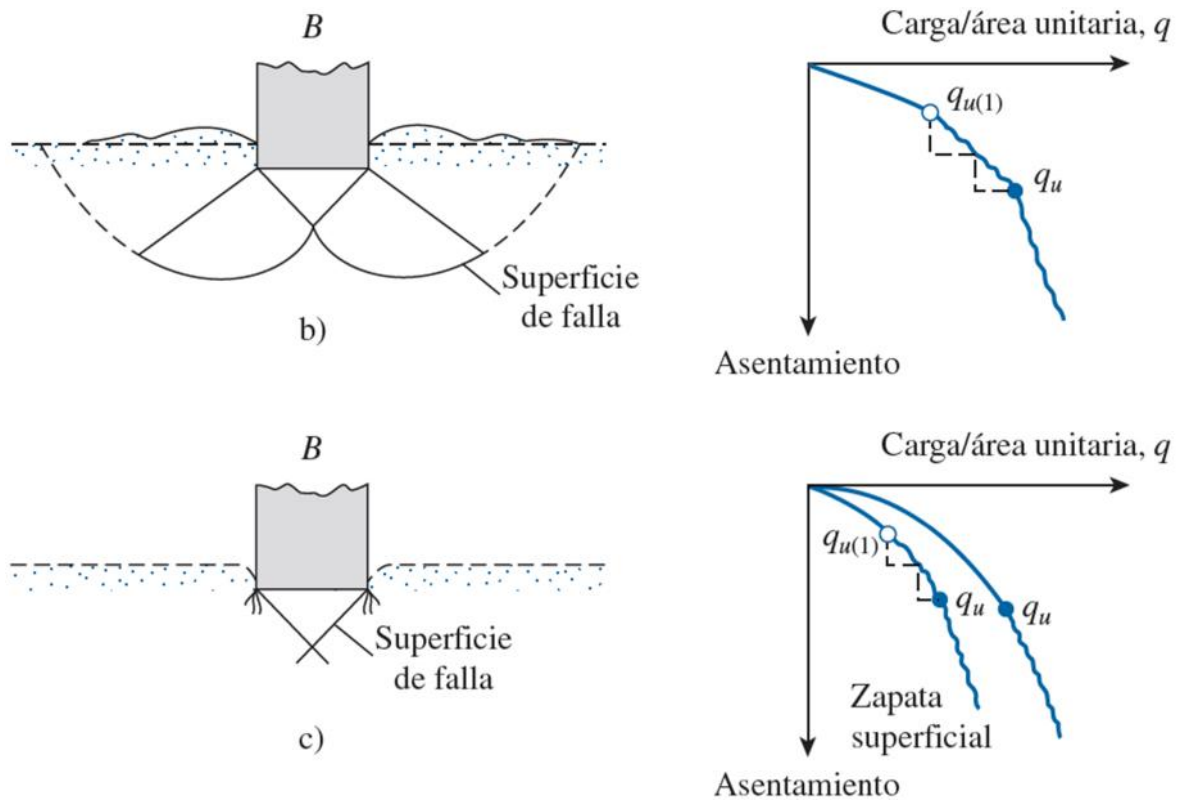


Figura 2. Tipos de fallas por capacidad de carga del suelo.

Mediante la aplicación del análisis de equilibrio límite, Terzaghi desarrolló la siguiente ecuación para calcular la capacidad de carga última de una masa suelo debajo de una cimentación continua o corrida (Laura, 2016; Das, 2012):

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (1)$$

Donde:

c' : cohesión de la masa de suelo

γ : peso específico de la masa de suelo

q : esfuerzo efectivo equivalente (σ'_{Di})

N_c , N_q , N_γ : factores de capacidad de carga adimensionales, que se calculan en función del ángulo de fricción de la masa de suelo ϕ' .

Los factores adimensionales de capacidad de carga para la ecuación de Terzaghi se calculan a través de las siguientes ecuaciones (Laura, 2016; Das, 2012):

$$N_c \times \cot\{\phi\} \frac{e^{2\phi\pi/4Z\{\phi\}2A\cot\{\phi\}}}{2\cos^2\phi/4\Gamma\{\phi\}2A} Z \times \cot\{\phi\} N_q Z A \quad (2)$$

$$N_q \times \frac{e^{2\phi\pi/4Z\{\phi\}2A\cot\{\phi\}}}{2\cos^2\phi/4\Gamma\{\phi\}2A} \quad (3)$$

y

$$N_x \times \frac{1}{2} \frac{K_{px}}{\cos^2\{\phi\}} Z \tan\{\phi\} \quad (4)$$

Donde K_p es el coeficiente de presión pasiva.

Para la estimación de la capacidad de carga última de las zapatas de formas cuadradas y circulares, la ecuación (1) se tiene que modificar para definir las ecuaciones modificadas siguientes (Laura, 2016; Das, 2012):

$$q_u \times 1.3c \Gamma_c \Gamma_q N_q \Gamma 0.4 \times B N_x \quad (\text{cimentación cuadrada}) \quad (5)$$

y

$$q_u \times 1.3c \Gamma_c \Gamma_q N_q \Gamma 0.3 \times B N_x \quad (\text{cimentación circular}) \quad (6)$$

Para cimentaciones cuadradas B representa la dimensión del lado y para cimentaciones circulares B es igual al diámetro del cimient.

Por otro lado, para cimentaciones sobre suelos que presentan una ruptura o falla debido al corte local, Terzaghi propuso que las ecuaciones anteriores deban ser modificadas, a continuación se presentan las ecuaciones modificadas (Laura, 2016; Das, 2012):

$$q_u \times \frac{2}{3} c \Gamma_c \Gamma_q N_q \Gamma \frac{1}{2} \times B N_x \quad (\text{cimentación continua}) \quad (7)$$

$$q_u \times 0.867c \Gamma_c \Gamma_q N_q \Gamma 0.4 \times B N_x \quad (\text{cimentación cuadrada}) \quad (8)$$

$$q_u = 0.867 c \left(\frac{N_c}{N_q} \right) \Gamma 0.3 \times B N_x \quad (\text{cimentación circular}) \quad (9)$$

Donde los factores adimensionales de capacidad de carga modificados N'_c , N'_q y N' se calcularán utilizando aquellas ecuaciones de capacidad de carga última que consideran: N_c , N_q y N , reemplazando ϕ por ϕ' (Laura, 2016; Das, 2012):

$$\phi' = \phi \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (10)$$

Asimismo, las ecuaciones de cálculo de la capacidad de carga varían también por la variación de la cohesión, mediante (Laura, 2016; Das, 2012):

$$c' = c \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (11)$$

2.1.2. Ecuación general de capacidad de carga (Meyerhof, 1963)

Las ecuaciones anteriormente presentadas permiten calcular la capacidad de carga de cimentaciones con cimientos corridos, cuadrados o circulares, pero no permiten el cálculo de la capacidad de carga con cimientos de formas rectangulares ($0 < B/L < 1$) (Das, 2012).

Una de las ecuaciones más utilizadas, que toman en cuenta la forma en planta de los cimientos, la profundidad de desplante y la inclinación de las cargas aplicadas sobre el cimiento, es la ecuación propuesta por Meyerhof (1951, 1963), cuya forma es la siguiente (Laura, 2016; Das, 2012; Bowles, 1996)):

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c \Gamma q N_q s_q d_q i_q \Gamma 0.5 \times B N_x s_x d_x i_x \quad (12)$$

Donde:

N_c , N_q y N : factores de capacidad de carga, según Meyerhof (1963).

s_c , s_q y s : factores de forma del cimiento.

d_c , d_q y d : factores de profundidad de desplante.

i_c , i_q y i_x : factores de inclinación de la carga aplicada.

Los factores de capacidad de carga, propuestos por Meyerhof (1951, 1963), se pueden calcular a partir de las siguientes expresiones (Laura, 2016; Bowles, 1996):

$$N_c = N_q \left(1 + \frac{B}{L} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (13)$$

$$N_q = N_q \left(1 + \frac{B}{L} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (14)$$

$$N_x = N_q \left(1 + \frac{B}{L} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (15)$$

Los factores de forma del cimiento, de profundidad de desplante y de inclinación de la carga aplicada, planteados por Meyerhof (1963) se presentan en la

Tabla 1:

Factores de forma, profundidad e inclinación para la ecuación de capacidad de carga de Meyerhof (Laura, 2016, 2018).

Factor	Ecuación	Para
Forma	$s_c = 1 + \frac{B}{L} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$	Cualquier ϕ
	$s_q = s_x = 1 + \frac{B}{L} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$	$\phi > 10^\circ$
	$s_q = s_x = 1$	$\phi = 0^\circ$
Profundidad	$d_c = 1 + \frac{D_f}{B} \sqrt{N_\phi}$	Cualquier ϕ
	$d_q = d_x = 1 + \frac{D_f}{B} \sqrt{N_\phi}$	$\phi > 10^\circ$
	$d_q = d_x = 1$	$\phi = 0^\circ$
Inclinación	$i_c = i_q = 1 - \frac{r}{90^\circ}$	Cualquier ϕ
	$i_x = 1 - \frac{r}{\phi}$	Cualquier ϕ

Donde: $N = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$

ϕ : ángulo de la fuerza resultante sin signo, medido desde la vertical.

B, L, D_f : ancho, largo y profundidad de desplante.

2.2. ASENTAMIENTOS

A partir de la teoría de mecánica de suelos, se ha observado que los asentamientos se incrementan al pasar el tiempo y el asentamiento, S , al final de todo el proceso de carga y modificación de la estructura del suelo puede ser estimado a partir de la siguiente sumatoria (Laura, 2016, 2018):

$$S = S_i + S_{cp} + S_{cs} \quad (16)$$

Donde:

S_i : asentamiento inmediato o elástico.

S_{cp} : asentamiento debido a la consolidación primaria del suelo.

S_{cs} : asentamiento debido a la consolidación secundaria del suelo.

2.2.1. Asentamientos inmediatos

Los asentamientos inmediatos se originan debido al cambio de forma de la masa de suelo (distorsión) sin variaciones de su volumen. Estos asentamientos ocurren inmediatamente (o en un tiempo corto) después de la aplicación de la carga, luego de lo cual el suelo empieza a experimentar la variación de volumen debido a que inicia el proceso de consolidación del suelo. Para los suelos que son predominantemente cohesivos, se utiliza los fundamentos de la teoría de la elasticidad lineal para estimar los asentamientos inmediatos, también denominados asentamientos elásticos (Laura, 2016, 2018).

Bajo la consideración de que la masa de suelo es homogénea y se comporta isotrópicamente, es común que se utilice aquella ecuación que fue propuesta por Schleicher (1926), que fue citado por Laura (2016), mediante el cual se calculan los asentamientos inmediatos a través de la siguiente expresión:

$$S_i = q B \frac{1 - \nu_s^2}{E_s} I_p \quad (17)$$

En donde:

q : esfuerzo total aplicado a través de la zapata.

B : ancho de la zapata.

μ : módulo de Poisson de la masa de suelo.

E_s : módulo de elasticidad de la masa de suelo

I_p : factor adimensional, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{1}{f} \ln \frac{f m^2 \Gamma A^{1/2} \Gamma 1}{m} \Gamma \ln f m^2 \Gamma A^{1/2} \Gamma m \quad (18)$$

Siendo $m = L/B$

2.2.2. Esfuerzos debidos a cargas externas rectangulares

Las cargas que son aplicadas en la superficie del suelo generan esfuerzos en el interior de una masa de suelo debajo de esta carga aplicada, y estos esfuerzos se calculan a partir de considerar que el suelo es un material semi-infinito, homogéneo, lineal, isotrópico y elástico.

Muchas, la mayoría, de las cimentaciones de las estructuras son de forma rectangular o aproximadamente rectangular. Los esfuerzos verticales debidos a cargas externas aplicadas a través de cimientos rectangulares, de ancho B y largo L , se pueden calcular a través de las siguientes expresiones (Das, 2012; Budhu, 2011):

$$\zeta \uparrow_z X q I_z \quad (19)$$

Donde:

q : esfuerzo aplicado a través del cimiento

I_z : factor de influencia, que se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$I_z \times \frac{1}{4f} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 \Gamma n^2 \Gamma 1}}{m^2 \Gamma n^2 \Gamma m^2 n^2 \Gamma 1} - \frac{m^2 \Gamma n^2 \Gamma 2}{m^2 \Gamma n^2 \Gamma 1} \right] \Gamma \tan^{z1} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 \Gamma n^2 \Gamma 1}}{m^2 \Gamma n^2 \Gamma m^2 n^2 \Gamma 1} \right] \quad (20)$$

Donde: $m = B/z$ y $n = L/z$.

Esta ecuación permite ser programado en una hoja de cálculo de MS Excel o en una calculadora para encontrar I_z . Se debe tener cuidado en el último término (\tan^{-1}) en la programación. Si $m^2+n^2+1 < m^2n^2$, entonces debe sumarse el valor de a la cantidad entre paréntesis del último término (Das, 2012; Budhu, 2011).

Asimismo, I_z puede determinarse gráficamente a través del ábaco de Fadum (Figura 3), que se encuentra en la mayoría de textos tanto de mecánica de suelos como de ingeniería de cimentaciones, en general.

Este esfuerzo adicional se suma al esfuerzo efectivo natural o en estado geoestático del suelo, calculado de acuerdo con la estratigrafía del subsuelo debajo del cimiento que se diseñará (Laura, 2018).

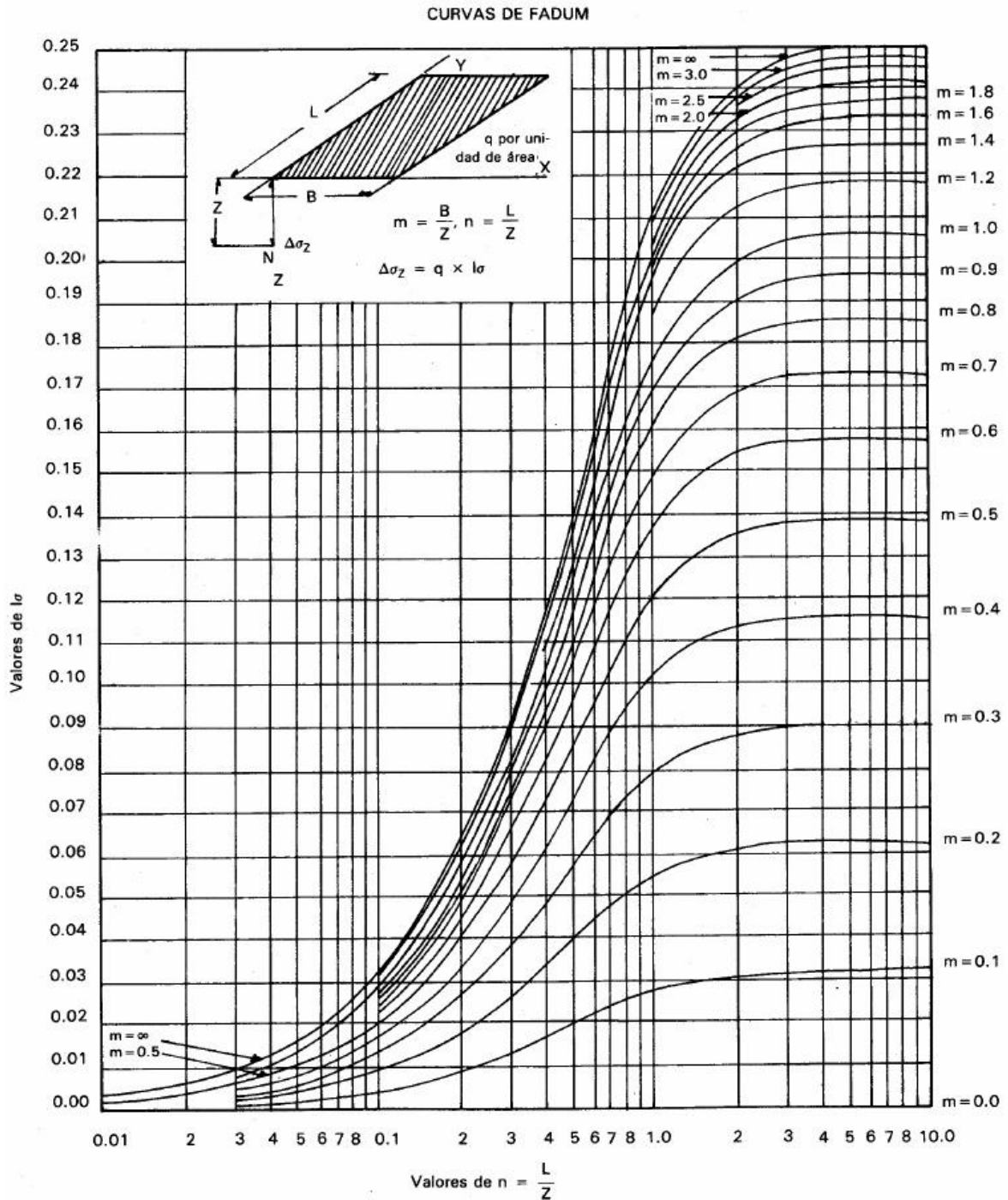


Figura 3. Ábaco de Fadum (m y n son intercambiables) (Berry y Reid, 1993).

2.2.3. Asentamientos por consolidación

Como se mencionó anteriormente, los asentamientos por consolidación ocurren luego de ocurrido el asentamiento elástico, con el paso del tiempo y principalmente se observan en suelos arcillosos saturados que están sometidos a incrementos de esfuerzos debidos a las cargas

aplicadas desde el exterior, debido a la construcción de los cimientos y las estructuras sobre éstas (Laura, 2018).

Los asentamientos por consolidación primaria se calculan a partir de la ecuación básica siguiente (Laura, 2016):

$$S_{cp} = \frac{H_0}{1 + e_0} \zeta e \quad (21)$$

Donde:

H_0 : altura inicial del estrato de suelo

e_0 : índice o relación de vacíos inicial del suelo

e : variación del índice o relación de vacíos en el suelo

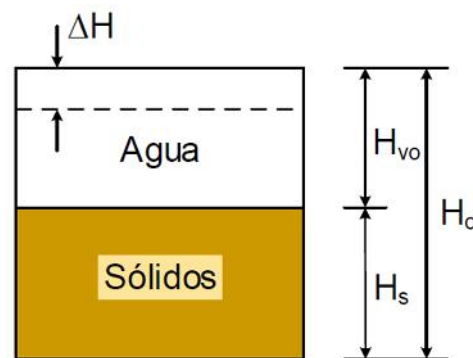


Figura 4. Asentamiento por consolidación primaria del suelo (Laura, 2016).

Esta última ecuación demuestra que el asentamiento debido a la consolidación primaria de una masa de suelo es resultado de la variación del volumen de sus vacíos, expresado en la variación del índice o relación de vacíos.

Para calcular la variación del índice de o relación de vacíos (e) se realiza en función de los parámetros obtenidos de la consolidación del suelo, los cuales relacionan a las variaciones del volumen de vacíos con los incrementos de los esfuerzos efectivos. Las ecuaciones que permiten calcular la variación del índice de vacíos dependen de las condiciones de preconsolidación de la masa de suelo y la magnitud final del esfuerzo efectivo (esfuerzo efectivo en condición estática y/o natural

más el incremento del esfuerzo vertical debido a las cargas externas aplicadas a través del cimiento) de la cimentación que se diseñará (Laura, 2018, 2016).

A continuación, se presentan las ecuaciones que son aplicables para los tres posibles casos:

A. Suelo normalmente consolidado

En masas de suelo normalmente consolidadas ($OCR = 1$) la presión de preconsolidación (p_p ó p_c) es igual al esfuerzo efectivo vertical actual de campo, natural o en condición geoestática. En este caso, el incremento en el esfuerzo vertical está relacionado con la variación del índice o relación de vacíos de la franja de compresión noval (virgen) de la masa de suelo, como puede observarse en la Figura 5.

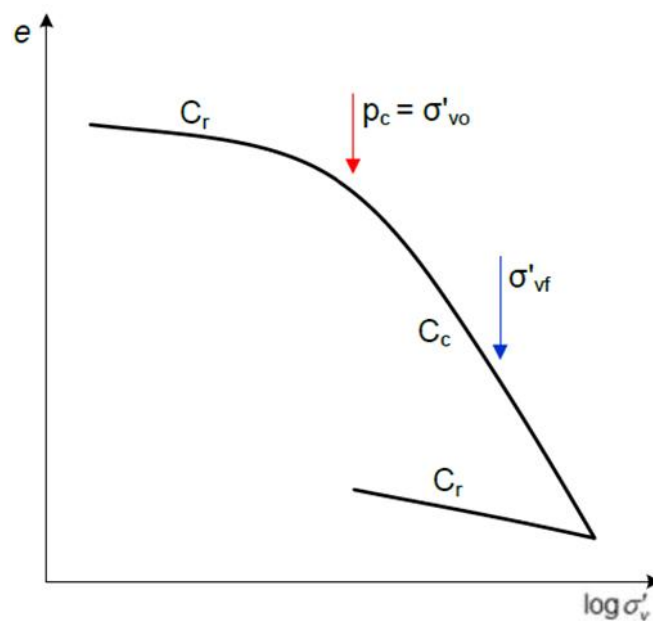


Figura 5. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión.
Suelo normalmente consolidado (Laura, 2016).

Considerando que el esfuerzo efectivo final es igual a $\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \sigma'_z$, la variación del índice de vacíos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\zeta_e X C_c \log \frac{1 + \frac{R}{v_f}}{1 + \frac{R}{v_0}} X C_c \log \frac{1 + \frac{R}{v_0} \Gamma \zeta + \frac{z}{v_0}}{1 + \frac{R}{v_0}} \quad (22)$$

Reemplazando el resultado obtenido a través de la ecuación (22) se puede calcular el asentamiento por consolidación primaria para suelos normalmente consolidados.

B. Suelo preconsolidado o sobreconsolidado ($\sigma'_{vo} + \sigma'_z < \sigma'_p$)

A partir de un análisis similar al caso anterior, y considerando que el esfuerzo efectivo natural es menor al esfuerzo de preconsolidación del suelo, la ecuación para calcular la variación del índice de vacíos debido a la consolidación primaria, para el caso de esfuerzos efectivos finales menores al esfuerzo de preconsolidación, será igual a:

$$\zeta_e X C_r \log \frac{1 + \frac{R}{v_f}}{1 + \frac{R}{v_0}} X C_r \log \frac{1 + \frac{R}{v_0} \Gamma \zeta + \frac{z}{v_0}}{1 + \frac{R}{v_0}} \quad (23)$$

Reemplazando el resultado de esta última en la ecuación (21) se puede calcular el asentamiento por consolidación primaria de los suelos en esta condición, que gráficamente se muestra este caso en la Figura 6. Normalmente este caso representa pequeñas estructuras sobre suelos sobreconsolidados, los cuales pueden generar asentamientos menores.

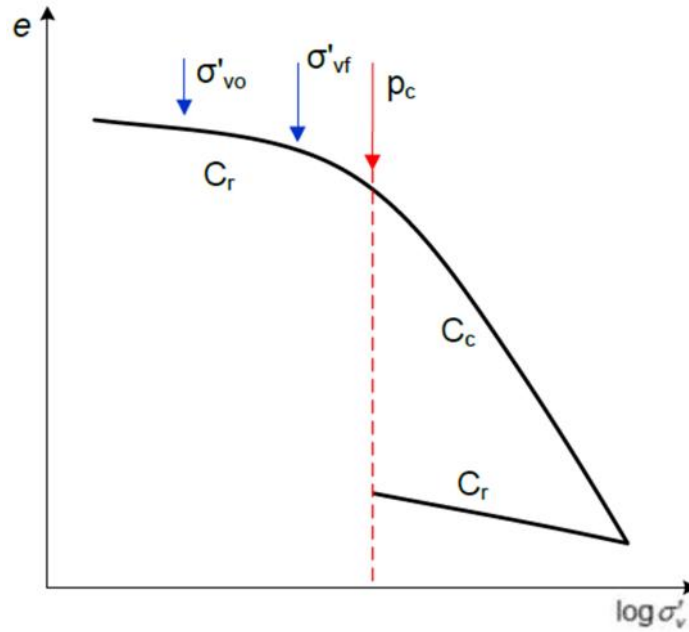


Figura 6. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión.
Suelo sobreconsolidado con $\sigma'_{vf} < p_c$.

C. Suelo preconsolidado o sobreconsolidado ($\sigma'_{vo} + \Delta \sigma'_z > p_p$)

En los suelos sobreconsolidados en los que los incrementos de esfuerzos verticales debidos a cargas externas provoquen que los esfuerzos efectivos finales superen el valor del esfuerzo de preconsolidación pueden calcularse las variaciones de la relación de vacíos mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \zeta_e X C_r \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + \Gamma C_c \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_p} \\ X C_r \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} + \Gamma C_c \log \frac{\sigma'_p \Gamma \zeta \sigma'_z}{\sigma'_p} \end{aligned} \quad (24)$$

Este estado corresponde a cimentaciones que transmiten grandes cargas al suelo, de tal manera que los incrementos de esfuerzos en el suelo superen el esfuerzo de preconsolidación. Gráficamente se observa esta situación en la curva de compresión en la Figura 7.

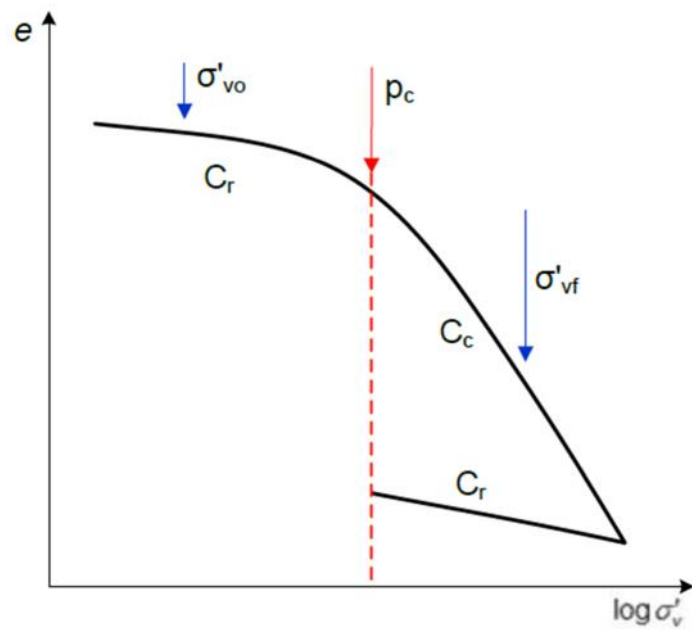


Figura 7. Condiciones de esfuerzos en la curva de compresión.
Suelo sobreconsolidado con $\sigma'_{vf} > p_c$.

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación, por sus características, corresponde principalmente a una investigación descriptiva. Sin embargo, debido a que busca realizar un análisis comparativo le corresponde un rasgo de investigación explicativa, para explicar las razones del resultado de la comparación que se realizará.

3.1.1. Investigación descriptiva

Este tipo de investigación corresponde a la caracterización de los suelos y su comportamiento mecánico bajo la acción de cargas de las estructuras de edificación, por medio de recolectar, organizar, resumir, presentar y analizar los parámetros del suelo y su respuesta traducida en la capacidad de carga y el asentamiento del suelo.

La investigación descriptiva es uno de los tipos más populares y utilizados en la actividad investigativa de los que inician en este campo. Según Bernal (2010), una de las funciones de principales de este tipo de investigación es la capacidad para seleccionar características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes del objeto, en este caso se ha seleccionado observar el *diseño de las cimentaciones de una edificación*.

3.1.2. Investigación explicativa

La investigación explicativa está fundamentada por la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones puedan conducir a la formulación de soluciones o contrastación de leyes o principios científicos (Bernal, 2010). Muchos investigadores consideran a la investigación explicativa como el nivel ideal de investigaciones no experimentales.

En este tipo de investigación se analizan las causas y los efectos de la relación entre las variables planteadas (Bernal, 2010).

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Debido a los trabajos y procedimientos que serán realizados, y se persiguen, en esta investigación el nivel de investigación corresponde a un nivel básico y no experimental. Asimismo, se debe indicar que la investigación tiene la característica de una investigación cuantitativa y cualitativa, debido a que se realizarán determinaciones numéricas y cualitativas.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el estudio planteado se requieren realizar diversas actividades para la recolección de datos y análisis correspondiente.

El programa de actividades planteado para este trabajo de investigación corresponde a la realización de recolección de:

- Z Exploración geotécnica y obtención de muestras para ensayos de laboratorio correspondientes para caracterizar el suelo y obtener los parámetros de resistencia y consolidación del suelo.
- Z Ensayos de caracterización de suelos, que básicamente incluyen ensayos de granulometría y límites de consistencia, así como la clasificación del suelo mediante el S.U.C.S.
- Z Ensayos de corte directo y de consolidación de suelos en laboratorio, para determinar los parámetros de resistencia y de consolidación, para definir la capacidad de carga del suelo.
- Z Cálculos de diseño de cimentaciones superficiales para la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.
- Z Análisis comparativo del diseño realizado en este trabajo con el diseño presentado en el proyecto de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

Todos estos trabajos se realizarán inicialmente en campo, en la misma zona en estudio y posteriormente en un laboratorio de mecánica de suelos adecuadamente equipado.

Los cálculos serán realizados mediante el apoyo de hojas de cálculo de Excel y con la guía de la bibliografía técnica disponible para el diseño de cimentaciones superficiales típicas de edificaciones como la analizada en este trabajo.

3.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

3.4.1. Variable independiente

Análisis geotécnico de cimentaciones superficiales, de la infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané – Puno.

Los indicadores de esta variable corresponden a las dimensiones y profundidad de desplante de las cimentaciones de la edificación proyectada de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

3.4.2. Variable dependiente

Diseño estructural, de la infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané – Puno.

Los indicadores de esta variable corresponden a los elementos estructurales de la edificación proyectada de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané, así como a la posible inclusión de vigas de cimentación armado.

3.4.3. Variable interviniente

Propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación, del área destinada para la infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané – Puno.

Los indicadores de esta variable serán:

La clasificación de los suelos que componen el subsuelo del área de construcción.

Parámetros de resistencia y de consolidación del suelo de fundación del área de estudio.

Capacidad de carga admisible del subsuelo del área destinada a la infraestructura para el servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané – Puno.

Asimismo, puede verse la matriz de consistencia presentado en los Anexos

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La municipalidad provincial de Huancané como ente rector del desarrollo local, atendiendo las necesidades de la localidad de Huancané, proyectó y ejecutó la construcción de una infraestructura, incluyendo el equipamiento con 02 camionetas, para el mejoramiento del Servicio de Seguridad Ciudadana en el distrito de Huancané.

La municipalidad provincial de Huancané, en su política de ordenamiento y desarrollo del distrito, propuso la elaboración del expediente técnico "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE SEGURIDAD CIUDADANA EN LA CIUDAD DE HUANCANÉ, PROVINCIA DE HUANCANÉ – PUNO" que obedece las necesidades de la población.

En esta propuesta, se define que la construcción de infraestructura para el Servicio de Seguridad Ciudadana, como una necesidad de la población del distrito de Huancané, que contribuirá con el desarrollo de la provincia, región y del país, con un sentido de compromiso social e Identidad andina, la respuesta físico espacial a esta propuesta ha sido proponer, principalmente, una adecuada infraestructura.

La seguridad ciudadana en el distrito de Huancané se encontraba en una situación crítica, ya que no cuenta con una infraestructura para el Servicio de Seguridad Ciudadana, careciendo de una atención adecuada en cuanto a seguridad para la población.

La construcción de la infraestructura y equipamiento, se fundamenta en la inexistencia de una infraestructura adecuada para la atención de seguridad por parte de la Municipalidad Provincial de Huancané.

Los servicios de seguridad ciudadana venían funcionando en ambientes inadecuados que no cumplen con los requerimientos mínimos para una buena atención a la ciudadanía, que requiere la urgente atención para la construcción de una infraestructura para el Servicio de Seguridad Ciudadana, cerco perimétrico, SS.HH., tanque elevado y otros servicios de primera necesidad, para una mejora de las condiciones de atención.

3.5.1. Descripción de la obra

En el presente estudio, solo se está considerando la construcción de una infraestructura. Siendo la infraestructura, ambientes en forma rectangular cumpliendo con las exigencias de la normatividad técnica vigente, se ha tomado en cuenta los requerimientos de función, iluminación optima, asolamiento total de modo natural y controlado, para mantener la temperatura por ser una zona con clima frio y seco.

La infraestructura considera, para los ambientes, una estructura del tipo aporticado, con zapatas conectadas, columnas, vigas y losas de concreto armado.

Los acabados son: tarrajeados, pintados interior y exteriormente, los pisos son de cemento pulido y cerámicos, el cielorraso de mezcla de cemento – arena, y cielo raso suspendido, el techo con losa aligerada y cobertura liviana con los siguientes detalles:

A. Características topográficas

El terreno asignado a este proyecto comprende un área de 705.02 m², la cual se encuentra ubicado en una zona relativamente llana, por lo que tiene una inclinación topográfica de 2.00% de pendiente transversal promedio, la infraestructura proyectada se encuentra en la parte central del terreno, por lo que a su alrededor se han distribuido las veredas y el cerco perimétrico.



Figura 8. Localización y topografía de la zona de estudio.

B. Fundamento del diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico se fundamenta en varios aspectos, la respuesta arquitectónica a todo el programa de necesidades resultado de la formulación del perfil de proyecto respectivo para que tenga un carácter funcional, seguridad y viable, para que a partir de su construcción se convierta en un hito de cambio y actualidad, que la edificación tenga una independencia funcional

El resultado del Proyecto Definitivo es una consecuencia de las condicionantes planteadas, como una respuesta, la más próxima posible a ellas y acondicionado a las normas y condicionantes de carácter arquitectónico e ingenieril y que concluye en una edificación de ambientes en 02 niveles en planta, con características exteriores e interiores de modernidad, con el uso de materiales vigentes en la actualidad, conjuntamente se ha planteado la construcción del cerco perimétrico, veredas interiores y exteriores

C. Planteamiento arquitectónico

CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

El diseño arquitectónico, comprende con la construcción en el primer nivel de: 01 ambiente de recepción, 01 ambiente para jefatura, 01 salón de usos múltiples, SS. HH para damas y varones con un área total de 124 m², y en el SEGUNDO NIVEL se encuentran: 01 ambiente para central de monitoreo, 01 ambiente para central de emergencias, 01 almacén de indumentaria, ambos niveles unidos por una caja de

escaleras. Todos distribuidos en cumplimiento de la norma técnica vigente, siendo los ambientes en forma rectangular, se ha tomado en cuenta los requerimientos de función, iluminación optima asolamiento total al aula de modo natural y controlado, para mantener la temperatura por ser una zona con clima frio y seco.

El estilo del tratamiento exterior e interior fundamentalmente está dado por que todos los paños de muros serán tarrajeados con un mortero simple, con la inclusión de bruñas equitativamente distribuidas sobre las vigas y columnas proyectadas y que además de tener una función estructural tiene una función estética porque delimita los colores de la edificación, las ventanas se ha proyectado de estructura de aluminio con vidrios de 6mm de espesor y ventanas corredizas, y perfiles esbeltos de fijación de ventanas que denotan una vista con ventanas esbeltas, la ventanas están proyectadas a lo largo de todo el paño de ejecución.

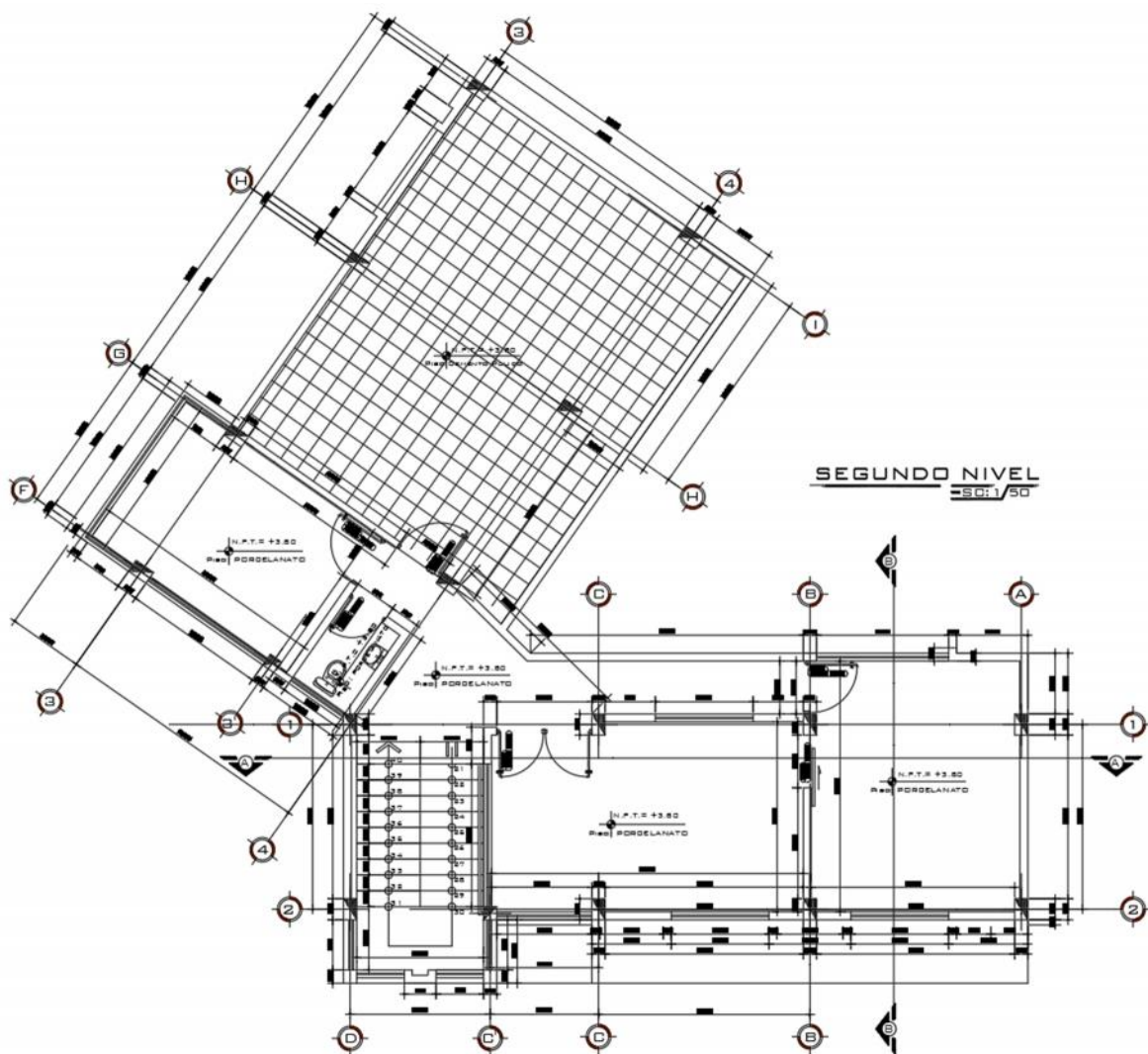
El tratamiento que se dará a los pisos será de cemento pulido y pisos de cerámico. Por otra parte, las veredas exteriores se han considerado con un acabado de cemento pulido ocreado debido a que la circulación será permanente es necesario que el desgaste sea mínimo, se tendrá que realizar el mantenimiento respectivo con la aplicación de cera liquida de color. Los ambientes con piso de cerámico cuentan con un acabado de contra zócalo de en todo el perímetro interior, debidamente acabado.

La pintura de las paredes se ha proyectado con pintura látex, de modo que no permita el reflejo del sol ni de la luz artificial, además se tiene a consideración de los ejecutores del proyecto el color determinado.

Las puertas de los ambientes tendrán que ser de madera tornillo apanelada con un ancho mínimo de 1.00 m teniendo una altura mínima de 2.60m con sus respectivos tragaluces.



a)



b)

Figura 9. Planos arquitectónicos de la edificación para el Servicio de Seguridad Ciudadana: a) primer nivel; y b) segundo nivel.

CONSTRUCCIÓN DE VEREDAS Y ÁREAS VERDES

Comprende con la construcción de: veredas exteriores de concreto simple en un área de 107 m², veredas interiores en un área de 26 m² y áreas verdes en 11 m² con sus respectivos sardineles, se ha tomado en cuenta los requerimientos de función, el tratamiento que se dará a las veredas será de cemento pulido coloreado.

CONSTRUCCIÓN DE CERCO PERIMÉTRICO

Comprende con la construcción de 63 metros de cerco perimétrico, el estilo del tratamiento exterior e interior fundamentalmente está dado por que todos los paños de muros serán acabados en ladrillo cara vista, con la inclusión de bruñas equitativamente distribuidas sobre las vigas

y columnas proyectadas y que además de tener una función estructural tiene una función estética.

D. Sistema estructural

La edificación ha sido estructurada y diseñada de manera tal de lograr un buen comportamiento frente a los sismos, para lo cual se han seguido los lineamientos establecidos en las Normas Técnicas de Edificación vigentes del Reglamento Nacional de Edificaciones.

En la dirección longitudinal, la estructura está formada por dos ejes de concreto armado, cuyos elementos son columnas peraltadas y vigas. En la dirección ortogonal el cortante es absorbido por muros de cabeza y columnas peraltadas. La cimentación ha sido resuelta mediante zapatas y vigas de cimentación en la dirección longitudinal. Los techos son aligerados de 20 cm. de espesor unidireccionales, Se utilizará cobertura termo acústica, con cobertura de techo de calaminón sobre tijerales de estructuras metálicas.

PARAMETROS DE DISEÑO ADOPTADOS

Concreto:

Sub-Zapata	:	Concreto C:H=1:10+ 30% P.G.
Sobrecimiento	:	Concreto C:H=1:8+ 25% P.M.
Concreto armado en cimentación:	:	Concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Elementos Estructurales	:	Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
Cemento	:	Cemento Tipo IP(Norman NTP 334.009)

Acero:

Corrugado	:	$F_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$.
	:	Deberá cumplir con la Norma ASTM-615

Albañilería:

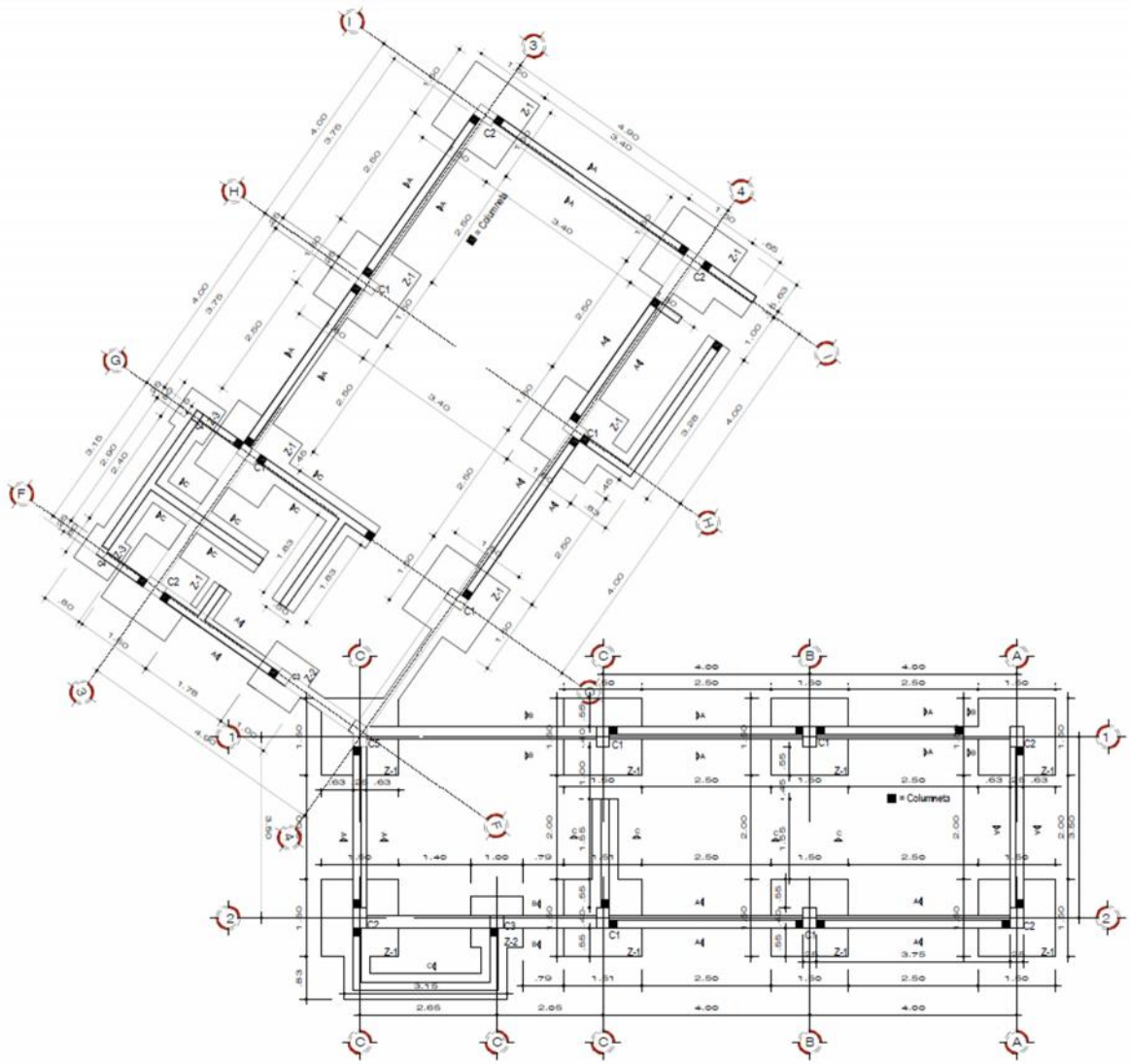
Resistencia Característica	:	$f'm = 65 \text{ Kg/cm}^2$.
Unidad de Albañilería	:	Clase IV de (9 x 13 x 24)
Mortero	:	1 : 1 : 4 (cemento : cal : Arena)
Juntas de mortero	:	min 1cm , máx. 1.5 cm.

Pesos:

Concreto Armado	:	2,400 kg/m ³ .
Concreto Ciclópeo	:	2,300 Kg/m ³ .
Piso Terminado	:	100 Kg/m ² .
Albañilería	:	1,800 Kg/m ³ .
Losa Aligerada(0.20 m)	:	350 Kg/m ² .
Sobrecarga en ambientes	:	50 Kg/m ² .
Sobrecargas Deposito, S.H	:	100 kg/m ²

Asimismo, el proyecto consideró el diseño de cimentaciones, expresado en los planos estructurales de cimentaciones

Las zapatas diseñadas son de tres (3) tipos, diferenciados por sus dimensiones: 1.50x1.50 m²; 1.00x1.00 m²; y 1.00x1.00 m²; con alturas de zapata de 0.45 m, 0.40 m y 0.40 m respectivamente; indicando, en todos los casos, refuerzos de acero: Ø 1/2" @ 0.20 m A/L.



E. Instalaciones sanitarias

INSTALACIONES DE AGUA POTABLE

a) Suministro de agua y conexión domiciliaria

Este proyecto considera que el suministro de agua potable se realizará mediante la conexión domiciliaria a través de una tubería de Ø 1/2", con el correspondiente medidor de flujo, la que se ubica en el frontis del predio.

En este proyecto se contempla una fuente directa de suministro de agua, de la red pública hacia un tanque elevado ubicado en el interior de la edificación.

b) Instalación de redes de tuberías exteriores de agua potable a los módulos.

Se contempla la instalación de tuberías, algunas válvulas y accesorios correspondientes en las tuberías exteriores a los módulos que forman parte del proyecto, los mismos que se conducen desde el tanque elevado hacia las válvulas de control de ingreso a cada módulo. Asimismo, comprende la realización de las pruebas hidráulicas correspondientes.

c) Instalación de tuberías de agua fría.

El proyecto contempla la instalación de tuberías de salida de agua para los inodoros, lavatorios, lavaderos corridos y urinarios, de acuerdo con lo que se indica en los planos correspondientes.

SISTEMA DE DESAGUE

a) Tuberías evacuación y conexión domiciliaria

En este proyecto se considera que la evacuación de los desagües se realizará a través de tuberías de las conexiones domiciliarias hacia un tanque biodigestor, ya que la zona no forma parte de una red pública de tuberías de desagüe, por encontrarse en una zona rural.

b) Instalación de cajas de registro.

Para esta infraestructura se considera la instalación de cajas de registro de concreto simple, de acuerdo a lo que se indica en los planos correspondientes, los mismos que permitirán recolectar los desagües provenientes de los servicios sanitarios del interior de la edificación.

c) Instalación de salidas de desagüe.

Se instalarán las salidas de desagüe de los inodoros, lavatorios, lavaderos y urinario, según lo indicado en los planos.

d) Sistema de ventilación.

Este sistema considera la instalación de tuberías de PVC de Ø 2", de tipo pesado (se debe asegurar la calidad de los materiales, adjuntando certificado de calidad de las mismas). Asimismo, se considera la instalación de tuberías de ventilación con su sombrero correspondiente.

SISTEMAS DE EVACUACIÓN PLUVIAL

a) Instalación de canaletas para aguas pluviales en techos

Esto consta de la instalación de canaletas de acero galvanizado, los cuales permitirán la recolección de las aguas pluviales en techos de los módulos hacia las canaletas de concreto en piso por medio de montantes instaladas adecuadamente.

b) Instalación de Canaletas en Piso.

Esta componente consiste en la instalación de canales de concreto, los que permiten la recolección de las aguas de lluvia en los pisos del patio, derivándolo hacia la zona de jardines.

F. Instalaciones eléctricas

REDES ELECTRICAS:

Comprende lo siguiente:

a) Para el presente Proyecto, se ha considerado que el tipo de suministro será Monofásico, 220V, 60Hz de la red pública, para lo cual la entidad solicitará con debida anticipación la conexión a quien corresponda.

b) Tablero General (TG).

Este tablero deberá ser metálico para empotrar, y estará conformado por un interruptor termo magnético general – tipo caja moldeada – y los circuitos derivados con interruptores termo magnéticos, así como interruptores diferenciales serán del tipo riel DIN. Asimismo, tendrán una varilla de cobre para el sistema de puesta a tierra de los circuitos eléctricos derivados.

El tablero general que será instalado deberá ser nuevo, con un interruptor termo magnético de capacidad adecuada según la memoria de cálculos. Desde este tablero general se distribuirá la energía eléctrica a todos los módulos proyectados.

Será instalado en la ubicación mostrada en el plano IEG-01. También se muestra en el plano el esquema de conexiones,

distribución de equipos y circuitos. Todos los componentes del tablero se instalarán en el interior del gabinete del tablero.

c) Tablero de Distribución (TD).

Este tablero corresponde al tipo de tableros que se empotran, conformado por Interruptores termo magnéticos, Interruptores Diferenciales riel DIN y tendrán una barra de cobre para el sistema de tierra de los circuitos eléctricos derivados.

De estos tableros de distribución se derivan a los circuitos eléctricos de alumbrado, tomacorrientes, y equipos en general. Se consideran instalar con tuberías empotradas y los cables para los circuitos derivados que alimentan a los puntos de utilización serán del tipo LSOH - Cero Halógenos y retardantes a la llama, de acuerdo a las secciones indicadas en las memorias de cálculos y planos correspondientes.

d) El alimentador principal y la red de alimentadores secundarios.

La red de alimentadores, para este proyecto, se inicia en el punto de alimentación o medidor de energía instalado.

El alimentador principal estará conformado por tres (3) conductores de fase y otra (1) de puesta a tierra típica. Los conductores de fase y puestas a tierra serán del tipo N2XH. Este alimentador principal va desde el medidor de energía al tablero general principal y deberán ser instalados directamente y enterrados a una profundidad mínima de 0.65 m.

La selección de los conductores para el alimentador y para los sub alimentadores guardan relación directa con la capacidad del interruptor general del tablero y la máxima demanda considerada.

En el caso de los alimentadores secundarios o sub alimentadores, estos tienen como su punto de inicio el tablero general y finalizan en los tableros de distribución de cada uno de los módulos.

Aquellos alimentadores con cable N2XH (3-1x6mm²+1x6(T)) (o calibres mayores o configuraciones similares), serán instalados con conductores de fase del tipo N2XH y el conductor de puesta a tierra también deberá ser del tipo N2XH, todos estos deberán ser instalados directamente enterrados, mientras que en otros casos serán entubados).

Todos aquellos sub alimentadores con cables de tipo N2XH, que son indicados en los planos como directamente enterrados, en los

tramos de ingreso o salida a tableros o cajas de pase, se instalarán entubados hasta los límites de las veredas.

En el plano correspondiente se muestra la red respectiva, así como su respectivo diagrama unifilar, esquema del tablero general, cuadro de carga y demás detalles que se consideren pertinentes.

Los alimentadores indicados en los planos de redes interiores serán verificados con lo mostrado en el plano de redes exteriores. En caso de no ser iguales prevalecerá lo indicado en el plano de redes exteriores.

e) El sistema de telecomunicaciones.

En la edificación, se considera un sistema de comunicaciones, en el que se han considerado redes telefónicas, de TV-Cable, y de Internet.

3.5.2. Obtención de parámetros del suelo.

a) Técnicas de muestreo

Para este trabajo se tomará como área de estudio el área destinada a la construcción de la edificación para el servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané, que representa un área total de 705.00 m².

Asimismo, se tomarán muestras intactas (“inalteradas”) de suelos a través de calicatas excavadas manualmente. Tanto la excavación de calicatas como el procedimiento de obtención de muestra seguirán las recomendaciones de los textos de mecánica de suelos.

b) Tamaño de muestra

El tamaño de las muestras intactas será de tipo cúbico de dimensiones aproximadas de 30 cm de lado, adecuadamente impermeabilizadas con los procedimientos recomendados en mecánica de suelos, con la finalidad de mantener intactos sus características y propiedades.

La cantidad de puntos de exploración se definirán de acuerdo con la normativa vigente (E.050 – Suelos y cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones). Asimismo, se obtendrán muestras

disturbadas con el propósito de realizar los ensayos de caracterización correspondientes.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas

El procedimiento para obtener los datos para el análisis en esta investigación será:

- Z Obtención de muestras intactas y disturbadas de los puntos de exploración, mediante la ejecución de calicatas excavadas manualmente.
- Z Ensayos de corte directo, de acuerdo con la norma ASTM D3080.
- Z Ensayos de consolidación unidimensional, de acuerdo con la norma ASTM D 2435.

3.6.2. Instrumentos

Durante la obtención de las muestras se hará uso de herramientas manuales y otros elementos de protección de muestras como plásticos adhesivos y cintas adhesivas para proteger las muestras obtenidas.

Asimismo, se harán uso de equipos de laboratorio destinados a la obtención de los parámetros necesarios para clasificación de suelos y parámetros de resistencia y consolidación de suelos.

3.6.3. Fuentes

Los materiales que se usarán para la realización de la presente investigación serán extraídos o adquiridos de las calicatas excavadas en el área destinada para la construcción de la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

IV. RESULTADOS

4.1. PROPIEDADES BÁSICAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Se realizaron trabajos de reconocimiento y exploración de suelos, con el objetivo de obtención de muestras y realización de ensayos de laboratorio para la determinación de propiedades básicas y parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y de consolidación de los suelos obtenidos de la zona de construcción de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané. Para este fin se realizó la exploración del suelo con la obtención de muestras de tres puntos de exploración, tipo trinchera (“calicatas”), mediante las cuales se procedió a someterlos a diversos ensayos en laboratorio, que se describen a continuación.

Las características básicas de los suelos, que componen la estratigrafía, para cada calicata se resume en la Tabla 2, incluyendo la clasificación SUCS de acuerdo a la práctica ASTM D2487-06, y en la Figura 4 se muestra la clasificación de los suelos finos característicos de cada calicata de la zona. El material del subsuelo corresponde a arcillas de color gris oscuro, con nivel freático superficial y contenido mínimo ($< 10\%$) de materiales granulares (grava y arena), por lo que se procederá a tratarlo como suelo fino (arcilloso) para su clasificación y determinación de parámetros para diseño geotécnico y estructural. Debe notarse que en la Tabla 3 y 4 se muestra la información relevante para los fines de este trabajo de investigación.

Tabla 2:
Características físicas básicas de los suelos explorados.

Calicata	Estrato No.	N.F.	G _s	w%	% Finos	LL	LP	Clasificación SUCS
C1	2	1.80	2.52	49.9	70	57%	29%	CH
C2	2	1.30	2.51	50.4	67	55%	28%	CH
C3	2	1.80	2.53	48.6	74	54%	30%	MH

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los perfiles estratigráficos y las características básicas de las muestras de suelo mostrados, se observa que se encuentran suelos finos, arcillas inorgánicas de plasticidad alta, formados esencialmente de forma natural en la zona de estudio mediante un proceso combinado de descomposición química de las rocas y sedimentación de suelos transportados.

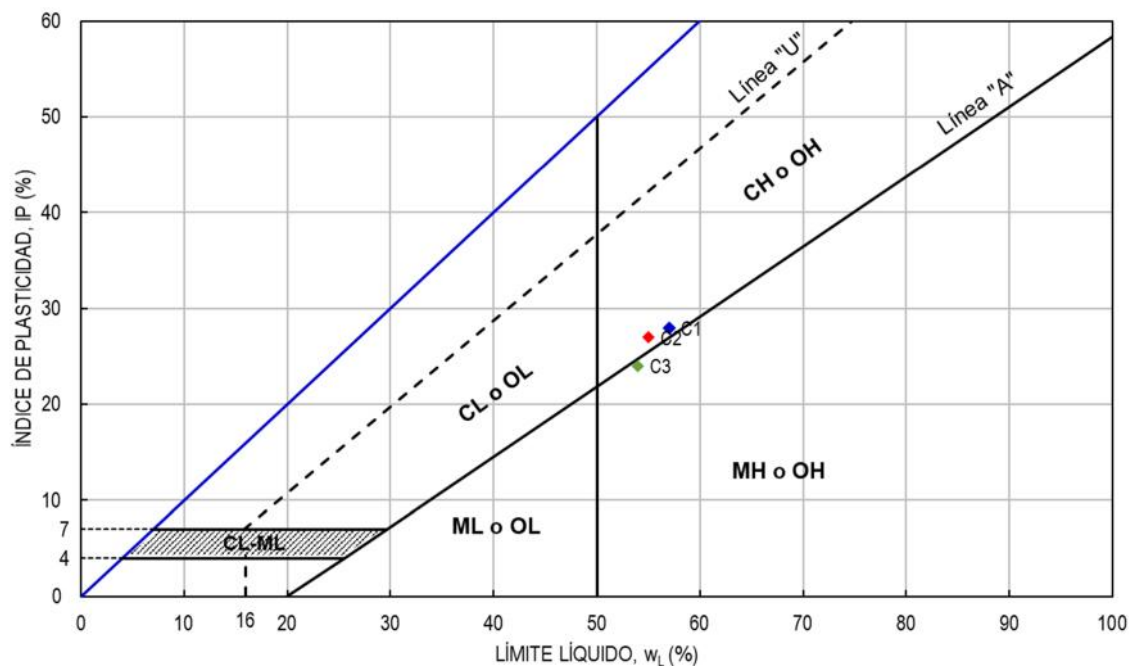


Figura 11. Clasificación de suelos finos en la carta de Casagrande (ASTM D2487-06)
(Fuente: Elaboración propia).

Asimismo, otras propiedades como peso unitario, relación de vacíos, gravedad específica, entre otros fueron obtenidos como parte de ensayos de resistencia al esfuerzo cortante y de consolidación unidimensional, realizados en laboratorio de suelos con las muestras obtenidas de campo, a través principalmente de trincheras (calicatas).

4.2. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE SUELOS

Las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, obtenidos a través de series de ensayos de corte directo de acuerdo a la práctica ASTM D3080-11, se resumen en la Tabla 3, y se observa que los principales suelos presentes en la zona corresponden a suelos con resistencias medias a bajas que pueden ser causa de deslizamientos, debido a los cortes realizados para la construcción de infraestructura urbana (vías, parques, etc.) y las viviendas en la zona. Asimismo, se

incluyen valores de los pesos unitarios de los suelos, obtenidos a partir de la información básica reportada en la Tabla 3, aplicando los conocimientos básicos sobre relaciona volumétricas y gravimétricas de los suelos saturados y parcialmente saturados.

Se observa que los parámetros de resistencia resultan en valores muy cercanos. Los valores obtenidos varían:

- Z El ángulo de fricción interna (ϕ) varía entre 11.0° y 12.5° , con un valor promedio de 11.7° .
- Z La cohesión (c') varía entre 0.62 kg/cm^2 y 0.83 kg/cm^2 , con un valor promedio de 0.72 kg/cm^2 (70.6 kPa).
- Z Adicionalmente, el peso unitario saturado (γ_{sat}) del suelo es de aproximadamente igual a 1.52 g/cm^3 (15.0 kN/m^3).

Tabla 3:
Propiedades resistentes de los suelos de fundación.

Calicata	Estrato No.	γ_{sat} g/cm^3	c' kg/cm^2	ϕ $^\circ$	Descripción
C1	2	1.65	0.83	11.0	Resist. media a baja
C2	2	1.52	0.62	12.5	Resist. media a baja
C3	2	1.40	0.71	11.7	Resist. media a baja

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, y debido a que las zapatas serán apoyadas superficialmente, se sometió a ensayo de corte directo de los suelos correspondientes al relleno ejecutado en la zona, de acuerdo a la práctica ASTM D3080-11, se resumen en la Tabla 4, y se observa que los principales suelos presentes en la zona corresponden a suelos con resistencias altas que se deben a rellenos granulares medianamente compactos. Asimismo, se incluye el valor del peso unitario de este suelo.

Se observa que los parámetros de resistencia resultan en valores corresponden a los siguientes:

- Z El ángulo de fricción interna (ϕ) igual a 26.0° .
- Z La cohesión (c') es igual a 0.123 kg/cm^2 (12.1 kPa).

- Z Adicionalmente, el peso unitario saturado (γ_{sat}) del suelo es de aproximadamente igual a 1.89 g/cm^3 (18.6 kN/m^3).

Estos valores serán utilizados en los cálculos correspondientes e indican que la resistencia puede considerarse como alta.

4.3. PROPIEDADES DE DEFORMABILIDAD. CONSOLIDACIÓN

Por otro lado, se determinaron las propiedades de consolidación de los suelos, obtenidos por medio de ensayos de consolidación de acuerdo a la práctica ASTM D2435-11 (Método A), los cuales se resumen en la Tabla 4, y se observa que los principales suelos presentes en la zona corresponden a suelos con resistencias medias a bajas que pueden ser causa de deslizamientos, debido a los cortes realizados para la construcción de infraestructura urbana (vías, parques, etc.) y las viviendas en la zona. Asimismo, se incluyen valores de los pesos unitarios de los suelos, obtenidos a partir de la información básica reportada en la Tabla 7, aplicando los conocimientos básicos sobre relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos saturados y parcialmente saturados.

Los resultados muestran que los parámetros tienen las siguientes variaciones:

- Z El índice de compresión (C_c) varía entre valores de 0.295 a 0.326, con un valor promedio de 0.310.
- Z El índice de descarga-recarga (C_s) varía entre valores de 0.049 y 0.061, con un valor promedio de 0.056.
- Z La relación de vacíos (e) varía entre 1.355 y 1.402, con un valor promedio correspondiente a 1.382.
- Z La presión o esfuerzo de preconsolidación (σ'_p) varía entre 42.5 kPa y 49.6 kPa, con un valor promedio de 46.1 kPa.

Estos valores corresponden a un suelo cuya deformabilidad puede ser considerada como media, y por lo cual debe ser utilizado como criterio para establecer las dimensiones de diseño de las cimentaciones de la edificación proyectada y considerada en el presente estudio.

Tabla 4:

Propiedades de consolidación de los suelos de fundación.

Calicata	Estrato No.	C _c -	C _s -	e ₀ -	p' kPa	Descripción
C1	2	0.326	0.057	1.355	49.6	Deformabilidad media
C2	2	0.295	0.049	1.402	42.5	Deformabilidad media
C3	2	0.308	0.061	1.390	46.3	Deformabilidad media

Fuente: Elaboración propia.

4.4. DISEÑO GEOTÉCNICO POR RESISTENCIA

Para proceder con el diseño geotécnico, según la práctica recomendada en la bibliografía (Laura, 2016, 2018; Delgado, 1999), se requiere el cálculo previo de las cargas de servicio que se transmiten a través de las columnas hacia las zapatas. Esto como parte del análisis estructural de la edificación correspondiente al proceso de diseño estructural de los elementos que conforman la estructura (vigas, columnas, losas, etc.).

A partir de la determinación de las áreas tributarias para cada columna, se calcularon las cargas de servicio que se transmitirán por cada columna, hacia las zapatas. A continuación, se muestran los resultados de la cuantificación de las cargas de servicio:

Tabla 5:

Cálculo de las cargas de servicio por columna, en la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

Columna	Ubicación (ejes)	Área tributaria (m ²)	N° pisos -	Carga superficial kN/m ² (kg/m ²)	Carga de servicio kN
C2	1A	6.59	2	14.7 (1500)	193.7
C1	1B	12.40	2	14.7 (1500)	364.6
C1	1C	9.38	2	14.7 (1500)	275.8
C2	2A	4.15	2	14.7 (1500)	122.0
C1	2B	7.80	2	14.7 (1500)	229.3
C1	2C	5.90	2	14.7 (1500)	173.5
C2	3F	4.78	2	14.7 (1500)	140.5
C1	3G	12.67	2	14.7 (1500)	372.5

Columna	Ubicación (ejes)	Área tributaria (m ²)	N° pisos -	Carga superficial kN/m ² (kg/m ²)	Carga de servicio kN
C1	3H	12.08	1	14.7 (1500)	177.6
C2	3I	6.42	1	14.7 (1500)	94.4
C5	4F	9.39	2	14.7 (1500)	276.1
C1	4G	11.76	2	14.7 (1500)	345.7
C1	4H	13.92	1	14.7 (1500)	204.6
C2	4I	7.40	1	14.7 (1500)	108.8

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información geotécnica de propiedades básicas, de resistencia y de deformación de los suelos estudiados en la zona de estudio, se resumen en el perfil estratigráfico presentado en la Figura 12. En este perfil estratigráfico se muestran los materiales encontrados, en promedio a través de los puntos de exploración considerados para la edificación, así como las principales propiedades y características de los suelos muestreados en los puntos de exploración considerados.

En el perfil estratigráfico (Figura 12) también se muestra que el Nivel Freático se encuentra a 1.60 m de profundidad, la que debe ser considerada en los cálculos y análisis geotécnicos que se realicen, considerando que el agua tiene influencia en los esfuerzos efectivos producidos en el interior del suelo.

El perfil estratigráfico también permite realizar un análisis cualitativo del análisis geotécnico para determinar las dimensiones de las zapatas y sus condiciones de ejecución. En este sentido, puede observarse que las zapatas se apoyan a 1.60 m debajo del nivel del piso terminado (NPT), por lo cual se apoyará sobre el relleno ejecutado sobre el terreno natural, que se encontrará debajo de éste. Por debajo del relleno se encuentra suelo natural, conformado por arcillas compresibles, en el que corresponde realizar un diseño que considere las deformaciones del suelo, debido a los incrementos de esfuerzos generados por las cargas transmitidas a través de las zapatas. Por lo tanto, en el diseño geotécnico se consideraron los dos criterios, de resistencia y deformabilidad.

Prof. m	Espesor de estrato (m)	Columna Litológica	Toma de muestras			SUCS	Descripción del suelo	Pasa N° 200	LL %	IP %	w %	G _s -	γ _{sat} kN/m ³	γ' °	c' kPa	s _u kPa	e ₀ -	γ _p kPa	C _c -	C _s -	mv(10 ⁻³) m ² /kN	E _s Mpa
			Tipo	L-Ø (cm)	Cotas (m)																	
	0.20		MA-1	-	0.00 - 0.20	RELL	RELLENO COMPACTADO						16.7									
1	1.60		MI-1	-	1.20 - 1.50	GC	GRAVAS ARCILLOSAS Gravas cuarcíticas compactas en una matriz arcillo-arenosa de color rojizo.	18.5			31.2	2.66	18.6	19.4	26	12.1						45
2			N.F.																			
3																						
4	4.00		MI-2	40	3.10 - 3.30	CH	ARCILLAS INORGÁNICAS SATURADAS de alta plasticidad, de color gris oscuro,	68.5	57	28	49.9	2.52		15	11.7	70.6	1.355	46.1	0.056	0.056	0.306	32.68
5			MA-2	-	4.70 - 5.00			71.2	66.1	37.8	62		18.85									
6							Fin del sondeo: 5.80 metros.															
7																						

Figura 12. Perfil estratigráfico con características y propiedades geotécnicas de los suelos.

De acuerdo con el procedimiento propuesto por Laura (2016; 2018), a partir de las ecuaciones de capacidad de carga de Meyerhof (1963), se procede a determinar las curvas para diseño geotécnico de las zapatas de la edificación del Servicio de Seguridad Ciudadana de Huancané.

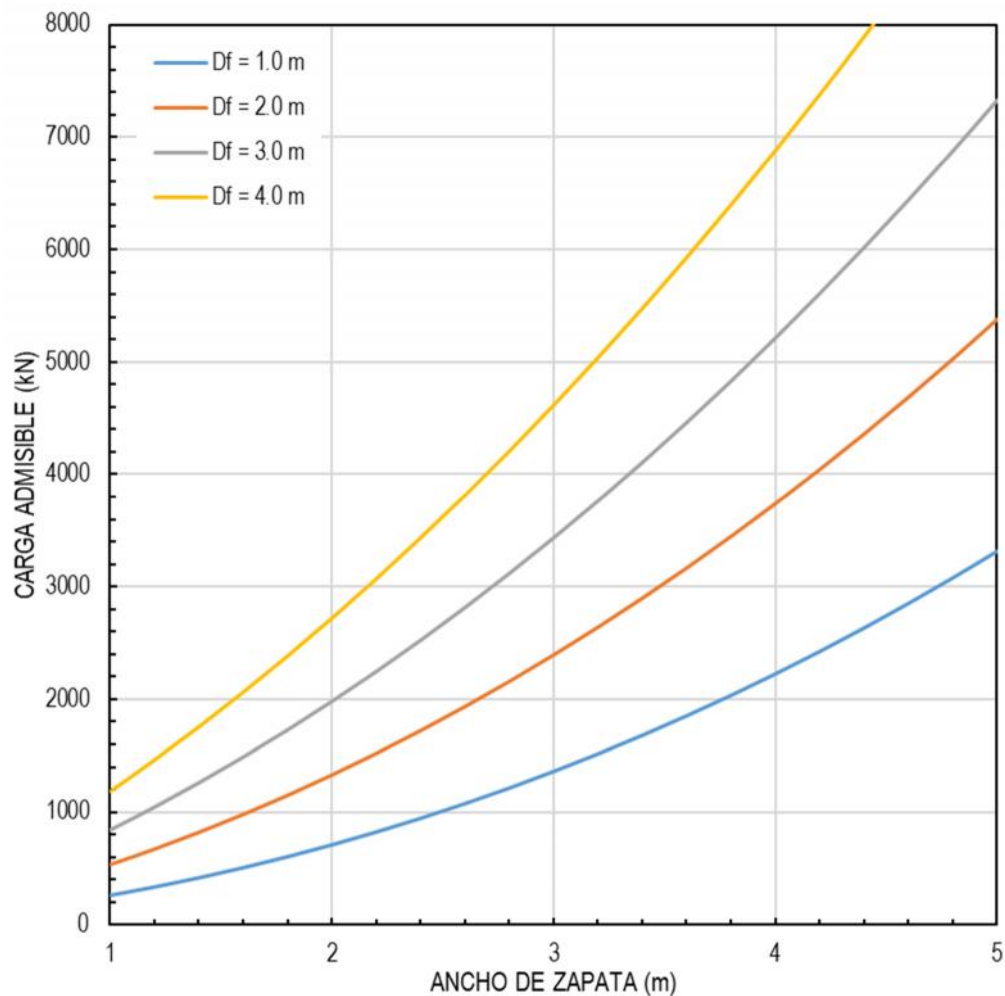


Figura 13. Curvas para diseño geotécnico de zapatas.

A partir de las curvas de diseño de zapatas por el criterio de resistencia, se determinan las dimensiones de las zapatas correspondientes a las diferentes columnas, consideradas en el análisis estructural. Estas se realizaron de forma simple, se parte por localizar la carga de servicio estimada anteriormente, luego se traza una línea horizontal hacia las curvas de diseño, y considerando la profundidad para diseño se determina el ancho (B) de la zapata en la intersección de la línea horizontal y la curva de diseño.

Tabla 6:

Anchos (B) de las zapatas determinadas a partir del análisis y diseño geotécnico de cimentaciones superficiales por el criterio de resistencia al esfuerzo cortante.

Columna	Ubicación (ejes)	Carga de servicio kN	Ancho de zapata calculado (m)	Ancho de zapata asumido (m)
C2	1A	193.7	0.81	0.90
C1	1B	364.6	1.28	1.30
C1	1C	275.8	1.05	1.10
C2	2A	122.0	0.56	0.60
C1	2B	229.3	0.92	1.00
C1	2C	173.5	0.74	0.80
C2	3F	140.5	0.63	0.70
C1	3G	372.5	1.30	1.30
C1	3H	177.6	0.76	0.80
C2	3I	94.4	0.47	0.50
C5	4F	276.1	1.05	1.10
C1	4G	345.7	1.23	1.30
C1	4H	204.6	0.84	0.90
C2	4I	108.8	0.51	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados encontrados y mostrados en la Tabla 5, se observa que las dimensiones de las zapatas son menores a las que se encuentran consignadas en los planos del proyecto. Esto se debe a que el criterio de resistencia adoptado siempre nos conduce a dimensiones menores en las cimentaciones. Sin embargo, este criterio debe ser considerado para compararlo con los resultados del diseño geotécnico por el criterio de deformabilidad del suelo compresible (fino), y de la comparación resultan las dimensiones mayores de ambos criterios.

4.5. DISEÑO GEOTÉCNICO POR DEFORMABILIDAD

El criterio de deformabilidad considera el cálculo de los incrementos de esfuerzos debidos a las cargas externas aplicadas a través de las zapatas hacia el terreno subyacente. Esto se realiza a través del procedimiento de cálculo de incrementos de esfuerzos debidos a cargas aplicadas sobre áreas rectangulares, al amparo de la teoría de la elasticidad (Boussinesq, 1773; Fadum, 1948).

Asimismo, se considera la propuesta de Laura (2016, 2018) que procede a través de curvas de diseño, que permite la determinación de la dimensión representativa de la zapata (Ancho, B) a partir de las cargas de servicio del análisis estructural de la infraestructura estudiada.

Tabla 7:

Cálculo de las cargas de servicio por columna, en la edificación de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

Columna	Ubicación (ejes)	Área tributaria (m ²)	N° pisos -	Carga superficial kN/m ² (kg/m ²)	Carga de servicio kgf
C2	1A	6.59	2	14.7 (1500)	19752
C1	1B	12.40	2	14.7 (1500)	37179
C1	1C	9.38	2	14.7 (1500)	28124
C2	2A	4.15	2	14.7 (1500)	12441
C1	2B	7.80	2	14.7 (1500)	23382
C1	2C	5.90	2	14.7 (1500)	17692
C2	3F	4.78	2	14.7 (1500)	14327
C1	3G	12.67	2	14.7 (1500)	37984
C1	3H	12.08	1	14.7 (1500)	18110
C2	3I	6.42	1	14.7 (1500)	9626
C5	4F	9.39	2	14.7 (1500)	28154
C1	4G	11.76	2	14.7 (1500)	35252
C1	4H	13.92	1	14.7 (1500)	20863
C2	4I	7.40	1	14.7 (1500)	11095

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información geotécnica, se grafican las curvas de diseño, a partir de las ecuaciones para el cálculo de asentamientos por consolidación primaria de suelos finos. Los resultados de este cálculo son mostrados en la Figura 14, el cual debe ser considerado para la determinación del ancho de la zapata para la edificación del Servicio de Seguridad Ciudadana de la localidad de Huancané.

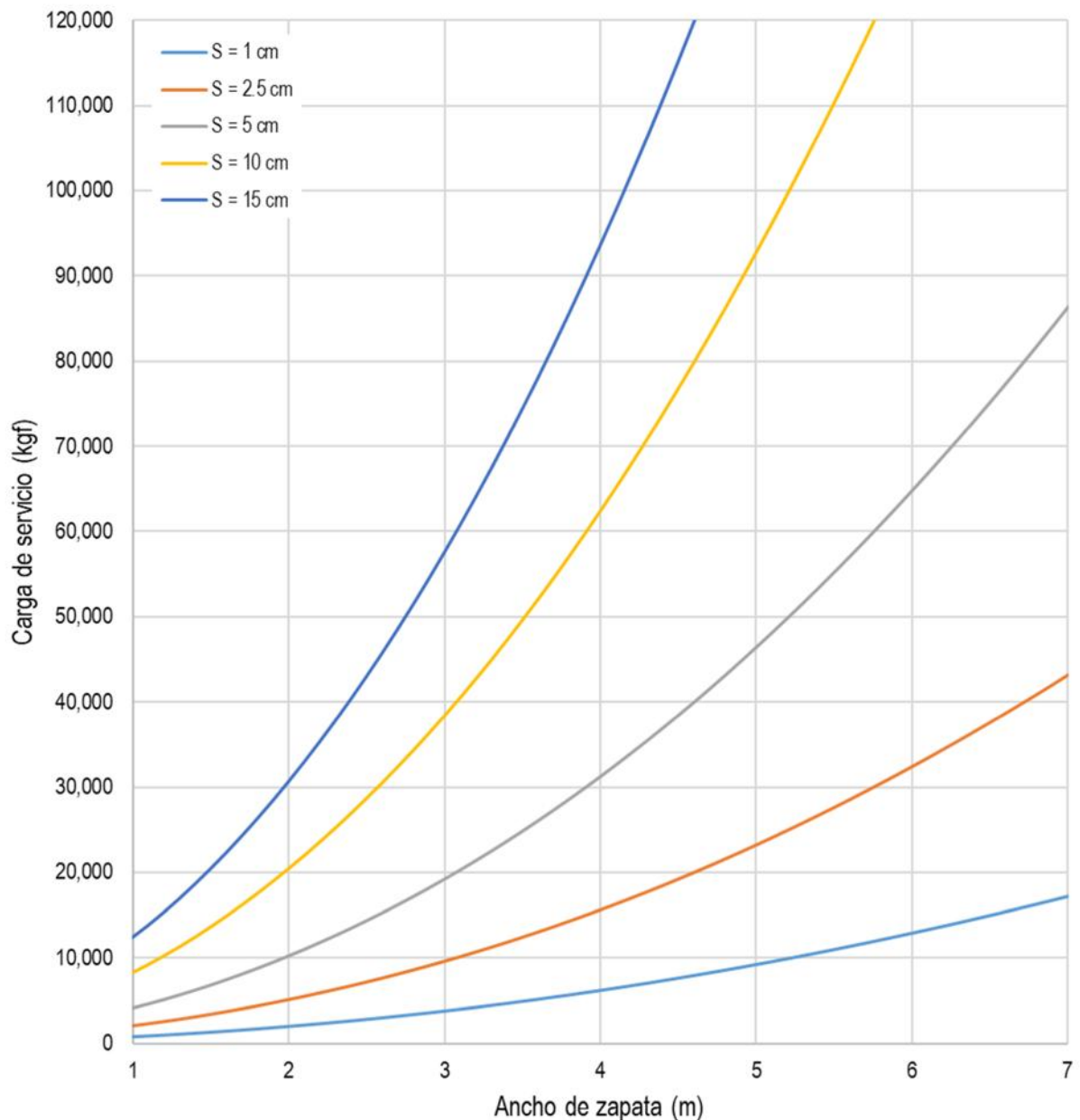


Figura 14. Curvas de diseño de zapatas, por el método de deformación (consolidación primaria).

Esto conduce a determinar las dimensiones, a partir de las cargas de servicio previamente calculado, similar al procedimiento indicado para el diseño por el criterio de resistencia de los suelos. A continuación, se presentan los resultados de la determinación de la dimensión representativa (Ancho, B) de las zapatas de la edificación estudiada (Tabla 8) para un asentamiento total de 10 cm, garantizando que se cumplirá con el requisito de evitar asentamientos diferenciales o reducirlos a valores aceptables (< 2.5 cm aproximadamente).

Tabla 8:

Anchos (B) de las zapatas determinadas a partir del análisis y diseño geotécnico de cimentaciones superficiales.

Columna	Ubicación (ejes)	Carga de servicio kN	Ancho de zapata calculado (m)	Ancho de zapata asumido (m)
C2	1A	193.7	1.84	1.90
C1	1B	364.6	2.96	3.00
C1	1C	275.8	1.46	1.50
C2	2A	122.0	1.18	1.20
C1	2B	229.3	2.18	2.20
C1	2C	173.5	1.78	1.80
C2	3F	140.5	1.53	1.60
C1	3G	372.5	3.03	3.10
C1	3H	177.6	1.76	1.80
C2	3I	94.4	1.08	1.10
C5	4F	276.1	1.48	1.50
C1	4G	345.7	2.73	2.80
C1	4H	204.6	2.07	2.10
C2	4I	108.8	1.27	1.30

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados mostrados en estas tablas, se puede observar que las dimensiones resultantes son mayores a las que fueron reportados en los planos

estructurales del proyecto ejecutado anteriormente. Esto se debe a la presencia de la arcilla compresible presente en el subsuelo.

El asentamiento considerado es igual a aproximadamente 10 cm, y se redujeron lo asentamiento diferenciales, restringidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) vigente. Para evitar este asentamiento total se pudo proponer un mejoramiento del terreno a través de falsas zapatas y/o precarga mediante la instalación de cargas temporales, mediante la construcción de terraplenes sobre el área de construcción.

V. DISCUSIÓN

El dimensionamiento geotécnico realizado, tuvo en consideración dos criterios geotécnicos establecidos por la teoría de mecánica de suelos, y que se pueden encontrar en la bibliografía disponible. Los resultados mostraron que el diseño geotécnico nos brinda resultados diferentes a los presentados en los planos estructurales del proyecto. Este error suele ser parte de los errores comunes que suelen cometerse en la realización de Estudios de Mecánica de Suelos, debido a que suelen considerar la ecuación de Terzaghi para el criterio de resistencia, mientras que el procedimiento de diseño geotécnicos por el criterio de deformación no suele ser parte de los Estudios de Mecánica de Suelos de los proyectos de infraestructura urbana que se vienen ejecutando para la construcción de diferentes proyectos en nuestro medio.

El diseño geotécnico que considera la resistencia del suelo, ha conducido a dimensiones menores a los presentados en los planos estructurales. Mientras que el diseño geotécnico que considera la deformación del suelo conduce a dimensiones mayores a los presentados en los planos estructurales, y esto a su vez conduce a considerar opciones para mejorar las condiciones del terreno en el lugar de construcción de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

Por otro lado, el diseño geotécnico que considera la deformación (consolidación) de los suelos finos, presentes en el área de estudio condujeron a dimensiones menores a los presentados en el Plano estructural, por lo cual requiere un mejoramiento de las condiciones del terreno, a través de falsas zapatas o precarga del área de construcción.

Por lo tanto, este análisis nos lleva a determinar que las cimentaciones deben ser rediseñadas debido a que se modificarán las condiciones de tránsito en la vía de transporte de pasajeros.

CONCLUSIONES

En base a lo estudiado y expuesto anteriormente y considerando los resultados obtenidos en los estudios técnicos, sobre el diseño de cimentaciones en el proyecto de la infraestructura del Servicio de Seguridad Ciudadana de la localidad de Huancané, se realizó un trabajo de recolección de información de los suelos en la misma área de construcción, así como los cálculos y análisis geotécnicos realizados se puede concluir que:

-) Las zapatas se apoyan sobre el relleno cuasi-compactado, ejecutado debido a los niveles considerados para el proyecto, y esto condujo a realizar un diseño geotécnico por resistencia y deformabilidad, lo cual afectará a la redistribución de esfuerzos debidos a los asentamientos considerados.
-) Finalmente, se concluye que el diseño geotécnico influye en el diseño estructural de los elementos estructurales de la infraestructura de las instalaciones para atención de seguridad ciudadana de Huancané.

RECOMENDACIONES

Debido al problema identificado, sobre el diseño de cimentaciones en el proyecto de la infraestructura del Servicio de Seguridad Ciudadana de la localidad de Huancané, se realizó un trabajo de recolección de información de los suelos en la misma área de construcción, así como los cálculos y análisis geotécnicos realizados se puede recomendar:

-) El diseño geotécnico de zapatas que se apoyan sobre el suelo blando requiere el diseño de vigas de cimentación armado en la Edificación del Servicio de Seguridad Ciudadana. Esto conduce a redistribución de esfuerzos debidos a los asentamientos calculados.
-) En los suelos de material arcilla arena, el proyecto de esta infraestructura ha considerado cimentaciones compuestas por zapatas conectadas y cimientos corridos, construidos sobre un relleno de 1.80 m de profundidad en promedio, si debe tener en cuenta el estudio de suelos.
-) considerando la existencia de suelos finos compresibles debajo del relleno, lo cual puede llegar a complicar el funcionamiento de la infraestructura. el diseño geotécnico influye en el diseño estructural de los elementos estructurales de la infraestructura.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, E. E. (2005). *Las Catástrofes y el Progreso de la Geotecnia*. Madrid: Real Academia de Ingeniería.
- Berry, P. L. y Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design (Fifth edition)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations (Third edition)*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Cañi H., G. G. y Gómez H., J. V. (2019). *Propuesta técnica para cimentaciones de viviendas ubicadas en el sector VII del distrito de Alto de la Alianza – Tacna – 2018*. Tesis de titulación, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.
- Delgado V., M. (1999). *Ingeniería de Cimentaciones. Fundamentos e introducción al análisis geotécnico (2da ed.)*. Colombia: Alfaomega Grupo Editor.
- Fernández M., W. R. (2015). *Evaluación de la capacidad portante de los suelos de fundación de la ciudad universitaria – Universidad Nacional de Cajamarca – 2014*. Tesis de Doctorado, Escuela de Postgrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Gómez T., J. y Cenepo P., J. C. (2019). *Evaluación y diseño de la capacidad portante del suelo con fines de cimentación para viviendas multifamiliares en la CC.NN. Pucallpa, en el distrito de Shanao, Lamas, San Martín*. Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (Séptima edición)*. México: Cengage Learning Editores, S.A.

- Laura H., S. (2018). *Entre el suelo y la estructura: Reflexiones sobre el diseño de cimentaciones superficiales*. Ponencia, Curso de Actualización de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Laura H., S. (2016). *Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la habia de Puno, para cimentaciones superficiales*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Pajuelo B., A. N. (2018). *Diseño geotécnico de la cimentación del mercado modelo Villas de Ancón, distrito de Ancón*. Tesis de titulación, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Palomino A., A. C. (2018). *Evalulación geotécnica aplicada al diseño de cimentaciones superficiales, en el distrito de Ventanilla, Lima – 2018*. Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Sanchez A., I. J. (2019). *Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en el centro poblado de Huamanmarca*. Tesis de titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SERVICIO DE SEGURIDAD CIUDADANA DE LA CIUDAD DE HUANCANÉ – PUNO.					
ENUNCIADO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICACIONES
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente	Ancho, B Largo, L Profundidad de desplante, D _r	J DIMENSIONES EN PLANTA (B y L) J PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (D _r)
¿De qué manera el análisis geotécnico de cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané?	Analizar si el análisis geotécnico de las cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana en la ciudad de Huancané.	El análisis geotécnico de las cimentaciones en suelo blando afecta el diseño estructural de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES		
Problemas secundarios	Objetivos específicos	Hipótesis secundarias	Dependiente		
¿De qué manera el diseño de cimentaciones en suelo blando afecta la infraestructura de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané?	Determinar si el diseño de cimentaciones en suelo blando afecta la infraestructura de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.	El diseño de cimentaciones en suelo blando; afecta a la infraestructura de la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.	DISEÑO ESTRUCTURAL	Dimensiones de elementos estructurales.	J DIMENSIONES DE SECCIONES. J CUANTÍAS DE ACERO DE REFUERZO.
¿Determinar si el diseño de cimentaciones en suelo blando determina vigas de cimentación armado en la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané?	Determinar si el diseño de cimentaciones en suelo blando determina vigas de cimentación armado en la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.	El diseño de cimentaciones en suelo blando determina la inclusión de vigas de cimentación armado en la edificación del servicio de seguridad ciudadana de la ciudad de Huancané.		Cuantías de refuerzo en elementos estructurales.	